

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Statické a konstrukční řešení železobetonového objektu

Static and structural solution of reinforced-concrete structure

Student:

Adéla Golková

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lucie Mynarzová, Ph.D

Ostrava 2018

Zadání bakalářské práce

Student: **Adéla Golková**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607R037 Konstrukce staveb
Téma: **Statické a konstrukční řešení železobetonového objektu**
Static and structural solution of reinforced-concrete structure
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci této práce bude vypracováno statické a konstrukční řešení vybraného železobetonového objektu. Práce bude obsahovat výpočet zatížení a vnitřních sil, návrh a posouzení hlavních nosných prvků objektu a výkresovou dokumentaci vybraných prvků zadané budovy.

Seznam doporučené odborné literatury:


ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. ČNI, 2004.
ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČNI, 2006.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lucie Mynarzová, Ph.D.**


Datum zadání: 31.10.2017

Datum odevzdání: 04.05.2018



doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Adéla Golková

Prohlašuji:

- byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

Adéla Golková

Anotace

GOLKOVÁ, Adéla. *Statické a konstrukční řešení železobetonového objektu*. Ostrava, 2018. 115 stran formátu A4. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Fakulta stavební. Katedra konstrukcí. Vedoucí práce MYNARZOVÁ, Lucie.

Předmětem této bakalářské práce je konstrukční a statické řešení železobetonové nosné konstrukce budovy o dvou podlažích sloužící jako vývojové centrum firmy. Práce se soustředí na statický výpočet s výpočtem zatížení, nalezení vnitřních sil, návrhem a posudkem vybraných monolitických železobetonových prvků. Prvky jsou navrženy co možná nejvýhodněji a nejehospodárněji, následně posouzeny dle mezního stavu únosnosti i použitelnosti společně s dodržáním konstrukčních zásad pro navrhování monolitických železobetonových konstrukcí. Přílohou bakalářské práce je výkresová dokumentace obsahující stavební výkresy ukazující dispozici a výkresy výztuže. Při navrhování byly použity všechny dostupné podklady k objektu, zbytek byl vhodně navržen.

Klíčová slova

Kombinovaný konstrukční systém, zatížení, stropní deska, průvlak, sloup, schodiště, stěna.

Abstract

GOLKOVÁ, Adéla. *Static and structural solution of reinforced-concrete structure*. Ostrava, 2018. 115 A4 pages. Bachelor thesis. VŠB – Technical University of Ostrava. Faculty of Civil Engineering. Department of structures. Supervisor MYNARZOVÁ, Lucie.

The subject of this bachelor thesis is structural and static solution of a supporting reinforced-concrete construction of the building with two floors serving as the development center of the company. Works focused on static calculation with load calculation, finding internal forces, design and assessment of selected monolithic reinforced-concrete elements. Elements are designed as optimally and economically as possible, and then assessed

for ultimate limit state and serviceability limit state, along with compliance with design principles for monolithic reinforced-concrete structures. Attachment of the bachelor thesis is a drawing part containing building drawings and reinforcement drawings. All available materials were used on the design, the rest was appropriately designed.

Key words

Combined construction system, load, ceiling slab, beam, pillar, stairs, wall.

Obsah

Seznam použitého značení	8
1 Úvod	14
2 Technická zpráva	14
2.1 Popis objektu	14
2.2 Nosná konstrukce	15
2.3 Střecha	15
2.4 Založení objektu	15
3 Kombinovaný konstrukční systém	16
3.1 Přenášení zatížení, výhody a nevýhody	16
3.2 Uspořádání stěn a sloupů	17
3.3 Používané systémy kombinovaných konstrukčních systémů	17
3.3.1 Jádrový systém	17
3.3.2 Vertikální kombinovaný systém	19
4 Výpočet zatížení	20
4.1 Zatížení stálá	20
4.2 Zatížení proměnná	23
4.2.1 Užitná zatížení	23
4.2.2 Klimatická zatížení – sníh	24
4.2.3 Klimatická zatížení – vítr	25
5 Výstupy modelu MKP softwaru	35
5.1 Vnitřní síly na stropní desce nad 2. NP	36
5.2 Vnitřní síly na stropní desce nad 1. NP	38
5.3 Vnitřní síly na průvlaku E nad 2. NP	40
5.4 Vnitřní síly na průvlaku 1 nad 1. NP	41
5.5 Vnitřní síly na sloupu pod průnikem průvlaků 1 a A ve 2. NP	42
5.6 Vnitřní síly na sloupu pod průnikem průvlaků 5 a A ve 2. NP	43
5.7 Vnitřní síly na sloupu pod průnikem průvlaků 4 a B ve 1. NP	44
5.8 Vnitřní síly na stěně v 2. NP mezi místnostmi 201, 216 a 202	45
6 Výpočet vnitřních sil na vybraných prvcích zjednodušenými modely.....	47
6.1 Výpočet vnitřních sil na desce nad 1. NP	47
6.2 Výpočet vnitřních sil na průvlaku 1 nad 1. NP	51

6.3	Výpočet vnitřních sil na schodišti	54
7	Návrh a posudek vybraných prvků konstrukce	57
7.1	Návrh a posudek stropních desek	57
7.1.1	Návrh a posudek stropní desky nad 2. NP	57
7.1.2	Návrh a posudek stropní desky nad 1. NP	65
7.2	Návrh a posudek průvlaku	70
7.3	Návrh a posudek sloupů	78
7.3.1	Sloup pod průnikem průvlaků 5 a A ve 2. NP	79
7.3.2	Sloup pod průnikem průvlaků 4 a B v 1. NP	88
7.4	Návrh a posudek schodiště	96
7.5	Návrh a posudek stěny ve 2. NP mezi místnostmi 201, 216 a 202	102
8	Závěr	110
9	Seznam obrázků	112
10	Seznam tabulek	113
11	Použitá literatura	114
12	Použité grafické a výpočtové programy	114
13	Seznam příloh	115

Seznam použitého značení

A	Součinitel vlivu dotvarování betonu	[–]
A_c	Průřezová plocha betonu vztažená na celý 1D prvek	[mm ²]
A_s	Plocha výztuže vztažená na celý 1D prvek	[mm ²]
$A_{s,max}$	Maximální plocha výztuže vztažená na celý 1D prvek	[mm ²]
$A_{s,min}$	Minimální plocha výztuže vztažená na celý 1D prvek	[mm ²]
A_{sw}	Plocha výztuže třmínku	[mm ²]
B	Součinitel vlivu vyztužení	[–]
C	Součinitel vlivu zatížení	[–]
$C_{Rd,c}$	Součinitel smykové pevnosti	[–]
E_c	Modul pružnosti betonu	[MPa]
E_s	Návrhová hodnota modulu pružnosti betonářské výztuže	[MPa]
F_s	Síla ve výztuži	[kN]
I	Moment setrvačnosti	[mm ⁴]

K	Součinitel zohledňující různé nosné systémy	[–]
L	Délka	[m; mm]
M_{01}, M_{02}	Koncové ohybové momenty prvního řádu	[kNm]
M_{Ed}	Návrhová hodnota ohybového momentu 1D prvku vztažená na celou šířku prvku	[kNm]
$M_{Ed,max}$	Hodnota maximálního ohybového momentu, který na prvku je	[kNm]
$M_{Ed,přisl}$	Hodnota ohybového momentu pocházejícího ze stejného zatěžovacího stavu jako jiná maximální vnitřní síla	[kNm]
M_{Rd}	Ohybový moment na mezi únosnosti 1D prvku vztažený na celou šířku prvku	[kNm]
$M_{Rd0(1,2,...)}$	Bod 0 (1,2,...) na interakčním diagramu	[kNm]
N_{Ed}	Návrhová hodnota normálové síly 1D prvku vztažená na celou šířku prvku	[kN]
$N_{Ed,max}$	Hodnota maximální normálové síly, která na prvku je	[kN]
$N_{Ed,přisl}$	Hodnota normálové síly pocházejícího ze stejného zatěžovacího stavu jako jiná maximální vnitřní síla	[kN]
$N_{Rd0(1,2,...)}$	Bod 0 (1,2,...) na interakčním diagramu	[kN]
V_{Ed}	Návrhová hodnota posouvající síly 1D prvku vztažená na celou šířku prvku	[kN]
$V_{Ed,přisl}$	Hodnota posouvající síly pocházejícího ze stejného zatěžovacího stavu jako jiná maximální vnitřní síla	[kN]
$V_{Ed,max}$	Hodnota maximální posouvající síly, která na prvku je	[kN]
$V_{Rd,c}$	Návrhová únosnost ve smyku nevyžadující smykovou výztuž	[kN]
$V_{Rd,c,min}$	Minimální smyková únosnost bez smykové výztuže	[kN]
$V_{Rd,max}$	Únosnost tlakových diagonál	[kN]
$V_{Rd,s}$	Únosnost třmínků	[kN]
a_c	Průřezová plocha 2D prvku vztažená na 1 m šířky	[mm ²]
a_s	Plocha výztuže ve 2D prvku vztažená na 1 m šířky	[mm ²]
$a_{s,h}$	Plocha výztuže stěny ve vodorovném směru vztažená na 1 m výšky	[mm ²]
$a_{s,h,max}$	Maximální plocha výztuže stěny ve vodorovném směru vztažená na 1 m výšky	[mm ²]
$a_{s,h,min}$	Minimální plocha výztuže stěny ve vodorovném směru vztažená na 1 m výšky	[mm ²]

$a_{s,max}$	Maximální plocha výztuže ve 2D prvku vztažená na 1 m šířky	$[mm^2]$
$a_{s,min}$	Minimální plocha výztuže ve 2D prvku vztažená na 1 m šířky	$[mm^2]$
$a_{s,min,rv}$	Minimální plocha rozdělovací výztuže vztažená na 1 m šířky	$[mm^2]$
$a_{s,rv}$	Plocha rozdělovací výztuže vztažená na 1 m šířky	$[mm^2]$
$a_{s,v}$	Plocha výztuže stěny ve svislém směru vztažená na 1 m šířky	$[mm^2]$
$a_{s,v,max}$	Maximální plocha výztuže stěny ve svislém směru vztažená na 1 m šířky	$[mm^2]$
$a_{s,v,min}$	Minimální plocha výztuže stěny ve svislém směru vztažená na 1 m šířky	$[mm^2]$
b	Šířka	$[m; mm]$
b_s	Šířka desky pro výpočet (1 m)	
b_{eff}	Spolupůsobící šířka trámu	$[mm]$
b_{sch}	Šířka schodiště	$[mm]$
b_{sl}	Půdorysný rozměr sloupu	$[m; mm]$
b_{st}	Šířka stěny pro výpočet (1 m)	$[m; mm]$
b_w	Šířka průvlaku	$[mm]$
c_{min}	Minimální krycí vrstva s přihlédnutím k soudržnosti, stupni prostředí, spolehlivosti a dalších redukčních hodnot	$[mm]$
$c_{min,b}$	Minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavku soudržnosti	$[mm]$
$c_{min,dur}$	Minimální krycí vrstva s přihlédnutím k podmínkám prostředí	$[mm]$
$c_{nom,deska}$	Jmenovitá hodnota tloušťky betonové krycí vrstvy stropní desky	$[mm]$
$c_{nom,pr}$	Jmenovitá hodnota tloušťky betonové krycí vrstvy pro průvlak vztažená k vodorovné nosné výztuži	$[mm]$
$c_{nom,sch}$	Jmenovitá hodnota tloušťky betonové krycí vrstvy schodišťové desky	$[mm]$
$c_{nom,sl}$	Jmenovitá hodnota tloušťky betonové krycí vrstvy pro sloup vztažená ke svislé nosné výztuži	$[mm]$
$c_{nom,st}$	Jmenovitá hodnota tloušťky betonové krycí vrstvy stěny	$[mm]$
$c_{nom,sw}$	Jmenovitá hodnota tloušťky betonové krycí vrstvy pro třmínek	$[mm]$
c_{pe}	Součinitel vnějšího tlaku větru	$[-]$
c_{pi}	Součinitel vnitřního tlaku větru	$[-]$
d	Účinná výška průřezu	$[mm]$
d_2	Účinná část průřezu bez ramene vnitřních sil	$[mm]$

d_g	Největší rozměr kameniva v betonu	[mm]
e_i	Náhodná excentricita od imperfekcí	[m]
f_{bd}	Návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti	[MPa]
f_{cd}	Návrhová válcová pevnost betonu v tlaku	[MPa]
f_{ck}	Charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku	[MPa]
f_{ctd}	Návrhová pevnost betonu v dostředném tahu	[MPa]
$f_{ctk;0,05}$	Charakteristická pevnost betonu v dostředném tahu , 5% kvantil	[MPa]
f_{ctm}	Pevnost betonu v tahu	[MPa]
f_{yd}	Návrhová hodnota meze kluzu oceli	[MPa]
f_{yk}	Charakteristická hodnota meze kluzu oceli	[MPa]
f_{ywd}	Návrhová hodnota meze kluzu oceli pro třmínky	[MPa]
g_d	Návrhová hodnota stálého zatížení	[kN/m ² ; kN/m]
g_k	Charakteristická hodnota stálého zatížení	[kN/m ² ; kN/m]
h_s	Tloušťka stropní desky	[mm]
h_{sch}	Tloušťka schodišťové desky	[mm]
h_{sl}	Půdorysný rozměr sloupu	[mm]
h_{st}	Tloušťka stěny	[mm]
h_w	Výška průvlastu včetně stropní desky	[mm]
i	Poloměr setrvačnosti	[m]
k	Součinitel výšky průřezu	[–]
k_1, k_2	Součinitelé dle Eurokódu	[–]
l	Délka	[mm]
l_0	Vzpěrná délka sloupu	[m]
l_{bd}	Kotevní délka	[mm]
$l_{bd,min}$	Minimální kotevní délka	[mm]
$l_{bd,rqd}$	Základní kotevní délka	[mm]
m_{Ed}	Návrhová hodnota ohybového momentu 2D prvku	[kNm/m]
$m_{Ed,max}$	Hodnota maximálního ohybového momentu, který na prvku je	[kNm/m]
$m_{Ed,přisl}$	Hodnota ohybového momentu pocházejícího ze stejného zatěžovacího stavu jako jiná maximální vnitřní síla	[kNm/m]
m_{Rd}	Ohybový moment na mezi únosnosti 2D prvku	[kNm/m]
$m_{Rd0(1,2,...)}$	Bod 0 (1,2,...) na interakčním diagramu	[kNm/m]
n	Poměrná normálová síla	[–]

n_{Ed}	Návrhová hodnota normálové síly 2D prvku	[kN/m]
n_{Rd}	Normálová síla na mezi únosnosti 2D prvku	[kN/m]
$n_{Rd0(1,2,...)}$	Bod 0 (1,2,...) na interakčním diagramu	[kN/m]
p_d	Celková návrhová hodnota zatížení	[kN/m ² ; kN/m]
q_d	Návrhová hodnota proměnného zatížení	[kN/m ² ; kN/m]
q_k	Charakteristická hodnota proměnného zatížení	[kN/m ² ; kN/m]
r_m	Poměr ohybových momentů prvního řádu	[–]
$s_{h,max}$	Maximální osová vzdálenost prutů vodorovné výztuže stěny	[mm]
$s_{h,min}$	Minimální světlá vzdálenost prutů vodorovné výztuže stěny	[mm]
$s_{h,skut,os}$	Skutečná osová vzdálenost prutů vodorovné výztuže stěny	[mm]
$s_{h,skut,sv}$	Skutečná světlá vzdálenost prutů vodorovné výztuže stěny	[mm]
$s_{kut,os,rv}$	Skutečná osová vzdálenost rozdělovací výztuže	[mm]
s_{max}	Maximální osová vzdálenost prutů betonářské výztuže	[mm]
$s_{max,rv}$	Maximální osová vzdálenost prutů rozdělovací výztuže	[mm]
s_{min}	Minimální světlá vzdálenost prutů betonářské výztuže	[mm]
$s_{skut,os}$	Skutečná osová vzdálenost prutů betonářské výztuže	[mm]
$s_{skut,sv}$	Skutečná světlá vzdálenost prutů betonářské výztuže	[mm]
s_{sw}	Vzdálenost třmínků	[mm]
$s_{sw,max}$	Maximální vzdálenost třmínků	[mm]
s_t	Vzdálenost větví třmínků v rovině kolmé k rovině ohybu	[mm]
$s_{t,max}$	Maximální vzdálenost větví třmínků v rovině kolmé k rovině ohybu	[mm]
$s_{v,max}$	Maximální osová vzdálenost prutů svislé výztuže stěny	[mm]
$s_{v,min}$	Minimální světlá vzdálenost prutů svislé výztuže stěny	[mm]
$s_{v,skut,os}$	Skutečná osová vzdálenost prutů svislé výztuže stěny	[mm]
$s_{v,skut,sv}$	Skutečná světlá vzdálenost prutů svislé výztuže stěny	[mm]
w	Průhyb	[mm]
w_{max}	Maximální přijatelná šířka trhliny	[mm]
x	Výška tlačené oblasti	[mm]
z	Rameno vnitřních sil	[mm]
$z_{1(2)}$	Část ramene vnitřních sil (od osy výztuže po osu sloupu)	[m; mm]
z_{max}	Maximální referenční výška budovy	[m]
z_{min}	Minimální referenční výška budovy	[m]
α	Úhel odklonu třmínků od střednice průvlaku	[°]

α_{cc}	Součinitel pro dlouhodobé účinky na pevnost betonu v tlaku	[-]
α_{ct}	Součinitel pro dlouhodobé účinky na pevnost betonu v tahu	[-]
α_{cw}	Součinitel zohledňující stav napětí v tlačném pásu	[-]
γ_c	Součinitel spolehlivosti betonu	[-]
γ_G	Součinitel spolehlivosti pro stálá zatížení	[-]
γ_Q	Součinitel spolehlivosti pro proměnná zatížení	[-]
γ_s	Součinitel spolehlivosti oceli	[-]
Δc_{dev}	Přídavek ke krytí na návrhovou odchylku	[mm]
$\Delta c_{dur,add}$	Redukce minimální krycí vrstvy při použití přídavné ochrany	[mm]
$\Delta c_{dur,st}$	Redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli	[mm]
$\Delta c_{dur,\gamma}$	Přídavná hodnota ke krytí z hlediska spolehlivosti	[mm]
ε_{cu3}	Mezní poměrné přetvoření	[-]
ε_{c2}	Poměrné přetvoření při dosažení maximální pevnosti	[-]
η	Součinitel definující účinnou pevnost	[-]
η_1	Součinitel vlivu soudržnosti	[-]
η_2	Součinitel vlivu průměru prutu	[-]
θ	Úhel mezi tlakovými diagonálami a osou průvlaku	[°]
λ	Součinitel definující efektivní výšku tlačené zóny	[-]
λ_{lim}	Limitní štíhlost sloupu	[-]
λ_{sl}	Štíhlost sloupu	[-]
λ_{st}	Štíhlost stěny	[-]
ν	Součinitel zmenšující pevnost betonu v tlaku	[-]
ξ	Poměrná výška tlačené oblasti betonu	[-]
ξ_{ball}	Poměr přetvoření oceli a betonu	[-]
ρ_w	Stupeň vyztužení taženou výztuží	[-]
$\rho_{w,min}$	Minimální stupeň vyztužení taženou výztuží	[-]
ρ_0	Referenční stupeň vyztužení	[-]
σ_s	Napětí ve výztuži	[MPa]
σ_{sd}	Návrhová hodnota napětí na mezi kluzu oceli	[MPa]
σ_{cp}	Příznivá normálová síla	[MPa]
\emptyset	Průměr prutu výztuže	[mm]
\emptyset_{deska}	Průměr výztuže v desce	[mm]
\emptyset_{sw}	Průměr třmínku	[mm]

$\varnothing_{sw,min}$	Minimální průměr třmínku	[mm]
ω	Mechanický stupeň vyztužení	[-]

Seznam zkratk

AP	Asfaltový pás
EPS	Expandovaný polystyrén
MKP	Metoda konečných prvků
PE	Polyethylen
PUR	Polyuretan
PVC	Polyvinylchlorid
SDK	Sádrokartón
1. (2.) NP,	1. (2.) nadzemní podlaží

1 Úvod

Náplní bakalářské práce je návrh a posudek základních prvků monolitického objektu kombinovaného konstrukčního systému. Součástí této práce je také vyřešení objektu z konstrukčního hlediska. Návrh dodržuje zásady pro navrhování dle ČSN EN 1990 [1]. Prvky jsou posuzovány na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti dle evropské normy EC2 [2]. Pro tyto navržené prvky je vyhotovena výkresová dokumentace upřesňující návrh. Bakalářská práce obsahuje také technickou zprávu objektu a základní teorii ke kombinovaným konstrukčním systémům z železobetonu.

2 Technická zpráva

2.1 Popis objektu

Objekt se nachází v obci Fryčovice, jeho výstavba byla dokončena v roce 2015. Stavba slouží jako vývojové centrum firmy. V dispozici se nacházejí především kanceláře, zasedací

místnost a modelářská dílna. Obvodový plášť tvoří zejména dřevo, sklo a železobeton. Půdorys je obdélníkový o vnějších rozměrech obvodového pláště $24,41 \text{ m} \times 14,41 \text{ m}$, o rozměrech včetně střešní konstrukce $25 \text{ m} \times 15 \text{ m}$. Výška objektu je $6,2 \text{ m}$ nad okolním terénem (nad $\pm 0,000$).

2.2 Nosná konstrukce

Hlavní nosnou konstrukci ve svislém směru tvoří železobetonové sloupy $0,25 \text{ m} \times 0,25 \text{ m}$ a stěny tloušťky $0,1 \text{ m}$; $0,15 \text{ m}$ a $0,2 \text{ m}$, stěny zároveň slouží jako vertikální ztužení. Hlavní vodorovná nosná část objektu je tvořena železobetonovými stropy tloušťky $0,2 \text{ m}$, vyztuženými v obou směrech, zajišťující horizontální tuhost a průvlaky šířky $0,25 \text{ m}$ a výšky $0,6 \text{ m}$ (včetně stropní desky). Pohyb mezi podlažími zpřístupňuje monolitické jednoramenné schodiště o rozměrech $1,245 \text{ m} \times 6,950 \text{ m}$ a tloušťce nosné desky $0,2 \text{ m}$. Železobeton tvořící nosné prvky je z betonu C 30/37 a oceli B 500B.

2.3 Střecha

Objekt disponuje plochou jednoplášťovou střechou se světlíkem. Nosnou konstrukci vytváří železobetonový monolitický strop nad 2. NP. Odvod srážkové vody je dovnitř půdorysu. Spádová vrstva je provedena z EPS tloušťky $0-0,285 \text{ m}$.

2.4 Založení objektu

Objekt je založen na plošných základech z železobetonu tvořeného betonem C 30/37 a ocelí B 500B. Všechny nosné konstrukce jsou založeny do nezámrzné hloubky ($0,8 \text{ m}$ pod upraveným terénem v krajních částech objektu a $0,5 \text{ m}$ ve střední části). Stěny jsou založeny na pasech šířky $0,3-0,5 \text{ m}$, pod sloupy jsou čtvercové patky o stranách $0,8-1,1 \text{ m}$, schodiště je také založeno na pasu šířky $0,3 \text{ m}$. Na patkách a pasech je umístěna deska z železobetonu mocnosti $0,1 \text{ m}$. Spodní stavba je chráněna hydroizolací a tepelnou izolací.

3 Kombinovaný konstrukční systém

Je kombinací stěnového a sloupového konstrukčního systému. Využívá předností jednotlivých systémů a sdružuje je do jednoho. Při správné kombinaci stěn a sloupů konstrukce čerpá výhod obou.

3.1 Přenášení zatížení, výhody a nevýhody

Velkou část ohybové tuhosti stěn ve směru rovnoběžném s jejich střednicí systém využívá pro ztužení sloupových konstrukcí proti vodorovným účinkům zatížení. Využití stěn v systému může být i z hlediska akustiky či požární odolnosti.

Poměr množství sloupů a stěn je různý a často se liší u vícepodlažních objektů i v jednotlivých patrech. Přidáním stěn v příčném i podélném směru systému, která přenášejí vodorovná zatížení, je možné dosáhnout zmenšení průřezových ploch sloupů na minimum potřebné jen k přenesení vertikálních zatížení.

Jsou dvě typická řešení napojení stropních desek či průvlaků na sloupy. Řešením může být tuhý spoj nebo kloubové připojení. Klouby nepřenášejí ohybové momenty a ze sloupů jsou kyvné stojky, které přenášejí pouze osové síly. Výhodou vetknutého spojení je větší tuhost spoje, což zvyšuje tuhost celé konstrukce.

Nevýhodou může být komplikované uložení stropních desek s konstantní tloušťkou. Desky jsou podepřeny přímkově na stěnách a bodově na sloupech. U bodového podepření hrozí protlačení desky sloupem (porušení smykem). Efekt protlačení nevzniká u uložení stropních desek na průvlak. Dalším vhodným řešením je vytvoření hlavic na sloupech.

Problém bývá také při založení objektu. Sloupy se obvykle zakládají na patky, stěny na pasy. Rozdílné založení může způsobovat rozdílné svislé deformace základových konstrukcí a tím možné poškození kompletačních prvků objektu a zvýšení namáhání nosných prvků.

3.2 Uspořádání stěn a sloupů

Při uspořádání je nutné myslet na to, že stěny mohou plnit i jiné funkce, než jen nosné. Neměly by větším způsobem omezovat variabilitu dispozice. Je vhodné je umístit tam, kde po celou dobu životnosti konstrukce budou žádoucí. Vhodnými místy pro umístění stěn mohou být štítové stěny, chodby, schodiště či rozhraní bytů. Nevhodné je umísťovat stěny v místech větších otvorů.

Pokud to dispozice dovolí, je výhodné spojovat podélné a příčné stěny do tvarů s vyšším momentem setrvačnosti. Toto řešení zvyšuje tuhost objektu v příčném i podélném směru při stejném množství použitého materiálu. Konstrukce je tak mnohem odolnější především vůči ohybovým momentům.

Při nesymetrickém rozmístění stěn podél podélné a příčné osy jsou stěny namáhány kromě ohybových momentů ještě momenty kroutícími. Čím méně symetrické rozmístění je, tím větší kroutící momenty obvykle vznikají, což je nežádoucí. Symetrické rozmístění je vhodné i pro jiné ztužující soustavy jako např. příhradová ztužidla.

3.3 Používané systémy kombinovaných konstrukčních systémů

3.3.1 Jádrový systém

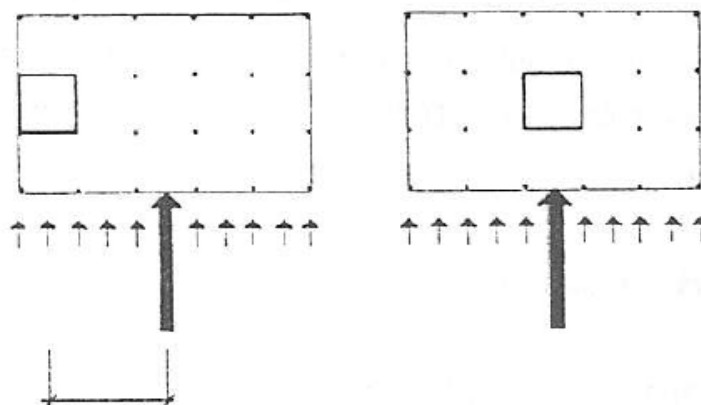
Systém disponuje uzavřeným jádrem sloužícím obvykle ke komunikaci (výtahy, schodiště). Stěny vhodně oddělí hlučný komunikační prostor od prostor vyhrazených účelu objektu. Při navržení jádra z betonu či železobetonu je prostor jádra požárně oddělen.

Plocha pro výtahy, schodiště a jiné prostory nevyžadující denní osvětlení je obvykle dosti velká na to, aby bylo umožněno vytvořit jádro s dostatečným odporem vůči účinkům vodorovného zatížení. Stropní konstrukce, která je ve své rovině velmi tuhá, propojuje všechny svislé nosné prvky (jádro, sloupy). Svislé prvky tedy přispívají k přenosu vodorovných zatížení úměrně ke své ohybové tuhosti.

Díky řádově větší ohybové tuhosti jádra oproti sloupům téměř všechno vodorovné zatížení přenechá právě jádro. Sloupy nesou pouze samy sebe a reakce od stropů. Styky sloupů a desek je proto možno provést kloubově (nepřenášejí ohybové momenty), což sníží pracnost spoje. Zároveň se sníží potřebná průřezová plocha sloupů a zvětší se užitná plocha.

S nedostatečnou tuhostí jádra je možno se setkat u vysokých budov, v kombinaci s vodorovným a svislým zatížením vzniká od ohybových momentů v dolní části jádra tah. Tento jev je nevhodný pro základové konstrukce. Řešením je zvětšit průřez jádra nebo převést více svislého zatížení budovy do jádra. Převedení svislého zatížení je možno dosáhnout zvětšením rozponů stropů (zvětší se reakce do jádra). Dalšími, komplikovanými, možnostmi je vysunutí velké konzoly z jádra a umístění sloupů na ni či zavěšení stropů na konzoly. Ani tato řešení ale nesníží vodorovné deformace způsobené větrem. Z toho plyne, že jádrový systém je výškově omezen.

Symetrie uspořádání výztužných prvků platí i pro tento systém. Jádro má být souměrné, umístěné v těžišti půdorysu. Především u vyšších budov je nevhodné jádro umístit k okraji budovy, zvětší se tím vliv krouticích momentů, tento jev je názorný na obrázku 3.1. Pokud je v objektu výztužných jader více, symetrie hraje o to podstatnější roli.



Obrázek 3.1 – Vliv umístění jádra v půdorysu budovy na velikost krouticích momentů od horizontálního zatížení

Výhodnou vlastností systému s vnitřním jádrem je vyloučení kolísání vlhkosti a teploty venkovního prostředí na důležitou část nosného systému. Vhodné je použití systému i do oblastí s očekávanými vynucenými deformacemi podloží (např. poddolování).

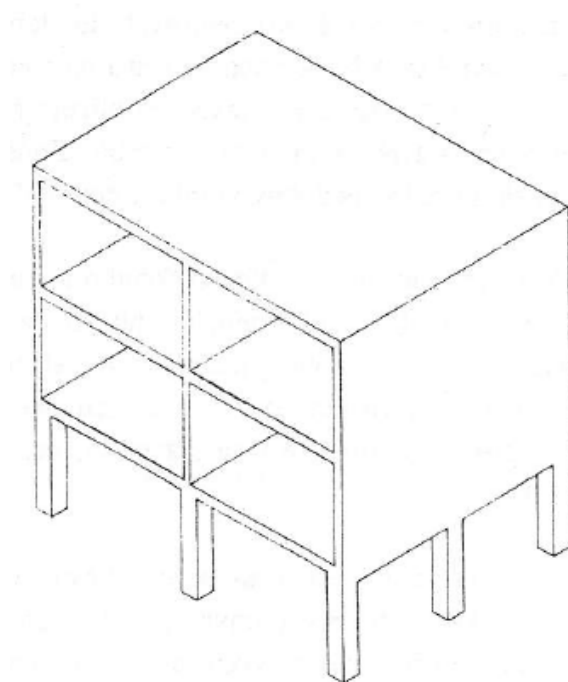
3.3.2 Vertikální kombinovaný systém

Je poměrně časté a žádoucí využívání jednotlivých podlaží různými způsoby. Příkladem mohou být obchody a kanceláře ve spodních patrech, byty ve vyšších patrech. U nemocnic, hotelů apod. je odlišný způsob fungování jednotlivých pater nezbytný. Těmto budovám se často říká integrované domy.

Zmíněným nárokům nejlépe vyhovuje, díky velké variabilitě dispozice, systém sloupový. Naopak sloupový systém není vhodný pro provozy s malými vnitřními prostory, jako jsou např. bytové domy, kde by mezi sloupy bylo potřeba nainstalovat velké množství příček. Tomuto uspořádání lépe sedí systém stěnový. Výhodným řešením problému je použití sloupů v místech s požadovanou velkou variabilitou a stěn v prostorech s požadavky na členění do menších prostor.

Sloupy se často umísťují ve spodních podlažích i z architektonického důvodu. Stavba na sloupové podnoži také umožňuje průhled do okolí a komunikační prostor pod budovou. Jiným důvodem sloupů v parteru může být málo únosná půda vyžadující hlubinné založení (sloupy, na rozdíl od stěn, lze umístit na menší počet bodů).

Konstrukčním problémem může být přenesení sil ze stěn do sloupů. V místě styků vznikají velké smykové síly. Při propojení sloupů velmi tuhou stěnou ve vyšších podlažích se velmi navyšuje citlivost takto spřažených sestav vůči nestejněměrné změně teplot a nestejněměrné deformaci podloží. Nutné je přiměřené řešení základových konstrukcí a tepelné izolace objektu.



Obrázek 3.2 – Příklad vertikálně kombinovaného systému (stěnový systém na sloupové podnoži)

4 Výpočet zatížení

Je uvažováno, že na konstrukci působí zatížení stálá (tíha nosné konstrukce a nenosných částí) a proměnná (užitná, klimatická – sníh a vítr).

4.1 Zatížení stálá

Stálá zatížení jsou uvažována dle ČSN EN 1991-1-1 [3]. Vlastní tíha nosné konstrukce je vypočtena programem Scia Engineer 17.01 rovněž dle [3]. Ostatní stála zatížení působí od skladeb vodorovných konstrukcí (podlahy, podhledy, střešní plášť), svislých konstrukcí (atika, výplňové materiály, povrchové úpravy) a schodiště. Výpočet stálého zatížení je pro přehlednost řazen do tabulek.

Tabulka 4.1 – Stálá zatížení – zatížení od podlahy v místnostech 101–114

Skladba	Popis zatížení	Výpočet zatížení	g_k [kN/m ²]
PUR stěrka	tl. 2,5 mm, $\rho = 2,5 \text{ kg/m}^2$	0,025	0,025
Penetrační nátěr	tl. 0,5 mm, $\rho = 0,2 \text{ kg/m}^2$	0,002	0,002
Betonová mazanina včetně výtuže a	tl. 61 mm, $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$	0,061 . 25	1,525
Reflexní fólie	tl. 1 mm, $\rho = 0,1 \text{ kg/m}^2$	0,001	0,001
Ochranná lepenka (A400H)	tl. 1 mm, $\rho = 0,1 \text{ kg/m}^2$	0,001	0,001
Teplená izolace (EPS)	tl. 130 mm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$	0,13 . 0,3	0,039
Hydroizolace (AP modifikovaný)	tl. 4 mm, $\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$	0,004 . 14	0,056
			$\Sigma = 1,649$

Tabulka 4.2 – Stálá zatížení – zatížení od podlahy v místnosti 115

Skladba	Popis zatížení	Výpočet zatížení	g_k [kN/m ²]
Laminát	tl. 8 mm, $\rho = 940 \text{ kg/m}^3$	0,008 . 9,4	0,075
Separační fólie	tl. 3 mm, $\rho = 0,1 \text{ kg/m}^2$	0,001	0,001
Betonová mazanina včetně výtuže a	tl. 53 mm, $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$	0,053 . 25	1,325
Reflexní fólie	tl. 1 mm, $\rho = 0,1 \text{ kg/m}^2$	0,001	0,001
Ochranná lepenka (A400H)	tl. 1 mm, $\rho = 0,1 \text{ kg/m}^2$	0,001	0,001
Teplená izolace (EPS)	tl. 130 mm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$	0,13 . 0,3	0,039
Hydroizolace (AP modifikovaný)	tl. 4 mm, $\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$	0,004 . 14	0,056
			$\Sigma = 1,498$

Tabulka 4.3 – Stálá zatížení – zatížení od podlahy v místnostech 201–203, 215, 216

Skladba	Popis zatížení	Výpočet zatížení	g_k [kN/m ²]
Koberec	tl. 5 mm, $\rho = 1,6 \text{ kg/m}^2$	0,016	0,016
PUR stěrka	tl. 2,5 mm, $\rho = 2,5 \text{ kg/m}^2$	0,025	0,025
Penetrační nátěr	tl. 0,5 mm, $\rho = 0,2 \text{ kg/m}^2$	0,002	0,002
Betonová mazanina včetně výtuže a	tl. 50 mm, $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$	0,050 . 25	1,250
Reflexní fólie	tl. 1 mm, $\rho = 0,1 \text{ kg/m}^2$	0,001	0,001
Ochranná lepenka (A400H)	tl. 1 mm, $\rho = 0,1 \text{ kg/m}^2$	0,001	0,001
Teplená a zvuková izolace (EPS)	tl. 40 mm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$	0,04 . 0,3	0,012
			$\Sigma = 1,307$

Tabulka 4.4 – Stálá zatížení – zatížení od podlahy v místnostech 204–214

Skladba	Popis zatížení	Výpočet zatížení	g_k [kN/m ²]
PUR stěrka	tl. 2,5 mm, $\rho = 2,5 \text{ kg/m}^2$	0,025	0,025
Penetrační nátěr	tl. 0,5 mm, $\rho = 0,2 \text{ kg/m}^2$	0,002	0,002
Betonová mazanina včetně výtuže a	tl. 55 mm, $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$	0,055 . 25	1,375
Reflexní fólie	tl. 1 mm, $\rho = 0,1 \text{ kg/m}^2$	0,001	0,001
Ochranná lepenka (A400H)	tl. 1 mm, $\rho = 0,1 \text{ kg/m}^2$	0,001	0,001
Teplená a zvuková izolace (EPS)	tl. 40 mm, $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$	0,04 . 0,3	0,012
			$\Sigma = 1,416$

Ve výpočtovém modelu je, díky malým rozdílům v hodnotách zatížení, uvažováno zjednodušeně zatížení od podlahy. Jsou brány pouze jeho maximální hodnoty, tj. $g_k = 1,649 \text{ kN/m}^2$ v 1. NP a $g_k = 1,416 \text{ kN/m}^2$ v 2. NP.

Tabulka 4.5 – Stálá zatížení – zatížení od podhledu v místnostech 105, 107–112

Skladba	Popis zatížení	Výpočet zatížení	g_k [kN/m ²]
Zavěšený SDK	tl. 12,5 mm, h = 180 mm, $\rho = 20$ kg/m ²	0,20	0,200
Epoxidová stěrka	tl. 2 mm, $\rho = 1800$ kg/m ³	0,002 . 18	0,036
			$\Sigma = 0,236$

Tabulka 4.6 – Stálá zatížení – zatížení od podhledu v místnostech 113, 115, 201–205, 215, 216

Skladba	Popis zatížení	Výpočet zatížení	g_k [kN/m ²]
Dřevěný podhled	tl. 15 mm, $\rho = 700$ kg/m ³	0,015 . 7	0,105

Ostatní místnosti mají podhled z pohledového betonu, tudíž není započítán do výpočtu zatížení.

Tabulka 4.7 – Stálá zatížení – zatížení od střešního pláště

Skladba	Popis zatížení	Výpočet zatížení	g_k [kN/m ²]
Násyp říčním kamenivem 16/30	tl. 60 mm, $\rho = 2000$ kg/m ³	0,06 . 20	1,200
Hydroizolace (PVC)	tl. 1,5 mm, $\rho = 1,85$ kg/m ²	0,019	0,019
Separční vrstva (PE - fólie)	tl. 0,2 mm, $\rho = 0,3$ kg/m ²	0,003	0,003
Spádová vrstva (EPS)	tl. 0 - 285 mm, $\rho = 30$ kg/m ³	0,285 . 0,3	0,086
Tepelná izolace (EPS)	tl. 150 mm, $\rho = 30$ kg/m ³	0,15 . 0,3	0,045
Hydroizolace (PE - Nopová fólie)	tl. 0,6 mm, h = 7 mm, $\rho = 1$ kg/m ²	0,01	0,010
Parozábrana (AP)	tl. 4 mm, $\rho = 4,8$ kg/m ²	0,048	0,048
			$\Sigma = 1,411$

Tabulka 4.8 – Stálá zatížení – svislá zatížení od nenosných konstrukcí

Skladba	Popis zatížení	Výpočet zatížení	g_k [kN/m]
Skleněná obvodová stěna	tl. 50 mm, h = 2500 mm, $\rho = 45$ kg/m ²	2,5 . 0,45	1,125
Skleněná obvodová stěna	tl. 50 mm, h = 1500 mm, $\rho = 45$ kg/m ²	1,5 . 0,45	0,675
Skleněná příčka	tl. 15 mm, h = 5300 mm, $\rho = 30$ kg/m ²	5,3 . 0,3	1,590
Epoxidová stěrka	tl. 2 mm, h = 2500 mm, $\rho = 1800$ kg/m ³	0,002 . 2,5 . 18	0,090
SDK příčka	tl. 75 mm, h = 2600 mm, $\rho = 21$ kg/m ²	2,6 . 0,21	0,546
Keramický obklad s lepidlem	tl. 7 mm, h = 2500 mm, $\rho = 14$ kg/m ²	2,5 . 0,14	0,350
Sádrový obklad s lepidlem	tl. 20 mm, h = 2100 mm, $\rho = 22$ kg/m ²	2,1 . 22	0,462
Dřevěný obvodový plášť	tl. 320 mm, h = 1200 mm, $\rho = 670$ kg/m ³	0,32 . 1,2 . 6,7	2,573
Dřevěný obvodový plášť	tl. 340 mm, h = 2800 mm, $\rho = 670$ kg/m ³	0,34 . 2,8 . 6,7	6,378
Tepelná izolace (EPS)	tl. 200 mm, h = 2700 mm, $\rho = 30$ kg/m ³	0,2 . 2,7 . 0,3	0,162
Vláknocementová deska	tl. 50 mm, h = 2700 mm, $\rho = 18$ kg/m ²	2,7 . 0,18	0,486
Porotherm 11,5 Profi Dryfix	tl. 115 mm, h = 2700 mm, $\rho = 850$ kg/m ³	0,115 . 2,7 . 8,5	2,639
Dřevěné zábradlí	tl. 150 mm, h = 1000 mm, $\rho = 670$ kg/m ³	0,15 . 1 . 6,7	1,005

Zatížení od skleněných příček, SDK příček a příček Porotherm 11,5 Profi Dryfix včetně povrchových úprav jsou do výpočtového modelu zahrnuta jako užité ekvivalentní rovnoměrné zatížení. Konkrétně v 1. NP je užité ekvivalentní rovnoměrné zatížení na plochu

od příček $q_k = 1,200 \text{ kN/m}^2$, protože platí, že zatížení skleněnou příčkou a zatížení příčkou Porotherm 11,5 Profi Dryfix včetně povrchové úpravy je $\leq 3 \text{ kN/m}$. Ve 2. NP je $q_k = 0,500 \text{ kN/m}^2$, protože SDK příčky včetně povrchové úpravy vyvolávají zatížení, které je $\leq 1 \text{ kN/m}$. Hodnoty proměnných zatížení jsou brány z tabulky 4.10.

Tabulka 4.9 – Stálá zatížení na schodišti

Skladba	Popis zatížení	Výpočet zatížení	g_k [kN/m ²]
PUR stěrka	tl. 2,5 mm, $\rho = 2,5 \text{ kg/m}^2$	0,025	0,025
Schodišťové stupně	$h = 155,5 \text{ mm}$, $b = 300 \text{ mm}$, $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$, 18 stupňů	$25 \cdot 18 \cdot 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,1555 / 5,818$	1,804
			$\Sigma = 1,829$

4.2 Zatížení proměnná

4.2.1 Užitná zatížení

Hodnoty užitného zatížení jsou brány dle [3] Národní přílohy ČR. Užitná zatížení jsou uvažována různá pro stropní konstrukce s různými účely místností, dále je počítáno s užitným zatížením střechy, schodiště a přemístitelných příček.

Tabulka 4.10 – Užitná zatížení

Kategorie zatěžovaných ploch	Popis zatížení	q_k [kN/m ²]
A (stropní konstrukce)	Místnosti obytných budov a domů; lůžkové pokoje a čekárny v nemocnicích; ložnice hotelů a ubytoven, kuchyně a toalety	1,500
A (schodiště)	Místnosti obytných budov a domů; lůžkové pokoje a čekárny v nemocnicích; ložnice hotelů a ubytoven, kuchyně a toalety	3,000
B	Kancelářské plochy	2,500
C2	Plochy se zabudovanými sedadly, např. plochy v kostelech, divadlech nebo kinech, v konferenčních sálech, přednáškových nebo zasedacích místnostech, nádražích a jiných čekárnách	4,000
E1	Plochy pro skladovací účely, včetně knihoven a archivů	7,500
H	Střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav	0,750
	Přemístitelné příčky o vlastní tíze $\leq 1 \text{ kN/m}$	0,500
	Přemístitelné příčky o vlastní tíze $\leq 3 \text{ kN/m}$	1,200

Užitné zatížení A (stropní konstrukce) je navrženo v místnostech 101, 103, 105–113, 204–216. A (schodiště) je uvažováno pouze na schodišťové konstrukci. Pro šikmou část je vynásobeno $\cos 28^\circ$. B je navrženo v místnostech 201–203. C2 v 115 a E1 v 102, 104, 114, 116. Užitné zatížení kategorie H se neuplatní, protože převládá zatížení sněhem. Odůvodnění použití ekvivalentního plošného zatížení od příček je popsáno v kapitole 4.1.

4.2.2 Klimatická zatížení – sníh

Výpočet je proveden dle ČSN EN 1991-1-3 [4]. Posuzovaný objekt je situován v obci Fryčovice, která leží ve sněhové oblasti III. Objekt má plochou střechu se sklonem $\max. 3,9^\circ \leq 5^\circ$.

Součinitel expozice

$$c_e = 1$$

Tepelný součinitel

$$c_t = 1$$

Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

$$s_k = 1,000 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení sněhem rovnoměrně rozloženém po ploše střechy

Tvarový součinitel zatížení sněhem (rovnoměrné zatížení)

$$\mu_1 = 0,8$$

Charakteristická hodnota zatížení sněhem při jeho rovnoměrném rozložení po ploše

$$s_{k1} = \mu_1 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k \tag{4.1}$$

$$s_{k1} = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,000 = 0,800 \text{ kN /m}^2$$

Zatížení navátým sněhem v blízkosti atiky

Výška atiky

$$h_p = 0,2 \text{ m}$$

Vnitřní půdorysný rozměr střechy

$$b_p \times l_p = 14,6 \text{ m} \times 24,6 \text{ m}$$

Délka návěje

$$l_s = \min. (5 h_p = 5 \cdot 0,2 = 1; b_p = 14,6 \text{ m}; 15 \text{ m}) = 1 \text{ m} \quad (4.2)$$

Tvarový součinitel zatížení sněhem (navátý sníh)

$$\mu_2 = \min. \left(\frac{2 h_p}{s_k} = \frac{2 \cdot 0,2}{1} = 0,4; \frac{2 b_p}{l_s} = \frac{2 \cdot 14,6}{1} = 29,2; 8 \text{ m} \right) = 0,4 \quad (4.3)$$

$$0,8 \leq \mu_2 = 0,4 \leq 2,0$$

Podmínka není splněna, hodnota tvarového součinitele není větší pro navátý sníh, než pro nenavátý, proto se v dalším výpočtu s navátým sněhem vůbec neuvažuje

(4.4)

4.2.3 Klimatická zatížení – vítr

Výpočet odpovídá ČSN EN 1991-1-4 [5]. Objekt v obci Fryčovice se nachází ve větrné oblasti II. Kategorie terénu se v místě objektu řadí do III (oblast rovnoměrně pokrytá vegetací nebo budovami nebo s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je rovna max. 10násobku výšky překážky). Rovněž jako u zatížení větrem je uvažována plochá střecha se sklonem max. $3,9^\circ \leq 5^\circ$. Ve výpočtu je uvažován vítr působící na střechu a obvodový plášť.

Součinitel směru větru

$$c_{dir} = 1$$

Součinitel ročního období

$$c_{season} = 1$$

Výchozí základní rychlost větru

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

Základní rychlost větru

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} \quad (4.5)$$

$$v_b = 1 \cdot 1 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

Vnější a vnitřní referenční výška budovy

$$z = z_e = z_i = 6,2 \text{ m} \quad (\text{konzervativně}) \quad (4.6)$$

$$6,2 \text{ m} \geq z_{min} = 5 \text{ m} \quad \text{Podmínka splněna} \quad (4.7)$$

Parametr drsnosti terénu

$$z_0 = 0,3$$

$$z_{0,II} = 0,05$$

Součinitel terénu

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215 \quad (4.8)$$

Součinitel drsnosti

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,215 \cdot \ln \left(\frac{6,2}{0,3} \right) = 0,651 \quad (4.9)$$

Součinitel ortografie

$$c_o(z) = 1$$

Součinitel turbulence

$$k_l = 1$$

Hustota vzduchu

$$\rho = 1,250 \text{ kg/m}^3$$

Charakteristická střední rychlost větru

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,651 \cdot 1 \cdot 25 = 16,275 \text{ m/s} \quad (4.10)$$

Intenzita turbulence

$$z_{min} = 5 \text{ m} < z = 6,2 < z_{max} = 200 \text{ m}$$

Podmínka splněna, pro výpočet
intenzity turbulence se použije
následující vzorec 4.12

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1}{1 \cdot \ln \frac{6,2}{0,3}} = 0,330 \quad (4.12)$$

Maximální dynamický tlak

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,330] \cdot 0,5 \cdot 1,250 \cdot 16,275^2 = 547,961 \text{ N/m}^2 = 0,548 \text{ kN/m}^2 \quad (4.13)$$

Kvazistálá odezva

Tlak větru působící na vnější povrchy

$$w_{ke} = q_p(z) \cdot c_{pe} \quad (4.14)$$

Tlak větru působící na vnitřní povrchy

$$w_{ki} = q_p(z) \cdot c_{pi} \quad (4.15)$$

Výsledný tlak větru na konstrukci

$$w_k = w_{ke} + w_{ki} = q_p(z) \cdot (c_{pe} + c_{pi}) \quad (4.16)$$

Při výpočtu součinitelů tlaku větru jsou ve všech následujících výpočtech uvažovány součinitelé pro velké zatěžovací plochy (vždy je splněna podmínka, že zatěžovací plocha je $> 10 \text{ m}^2$). Zároveň je uvažováno s plochou střechou (je splněna podmínka, že sklon střechy je $\leq 5^\circ$).

Tlak větru pro svislé stěny (podélný vítr)

Výška konstrukce

$$h = 6,2 \text{ m}$$

Půdorysný rozměr rovnoběžný se směrem větru

$$d_v = 25 \text{ m}$$

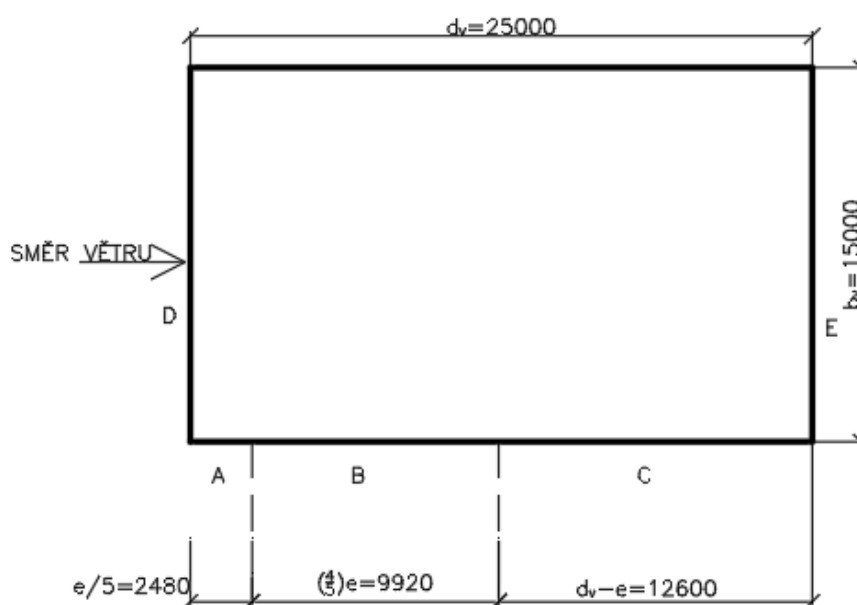
Půdorysný rozměr kolmý na směr větru

$$b_v = 15 \text{ m}$$

$$e = \min. (b_v = 15; 2 \cdot h = 2 \cdot 6,2 = 12,4) = 12,4 \text{ m} \quad (4.17)$$

$$e = 12,4 \text{ m} < d_v = 25 \text{ m} \quad \text{Podmínka splněna, použito} \quad (4.18)$$

rozdělení součinitelů vnějšího tlaku
na ploše dle obrázku 4.1



Obrázek 4.1 – Rozdělení stěny do polí pro podélný vítr (půdorys objektu)

$$\frac{h}{d_v} = \frac{6,2}{25} = 0,248 \quad (4.19)$$

Hodnoty součinitelů vnějších tlaků

$$c_{pe,10}^A = -1,200$$

$$c_{pe,10}^D = +0,700$$

$$c_{pe,10}^B = -0,800$$

$$c_{pe,10}^E = -0,300$$

$$c_{pe,10}^C = -0,500$$

Hodnoty součinitelů vnitřních tlaků

$$c_{pi,10} = +0,200$$

$$c_{pi,10} = -0,300$$

Výsledné tlaky větru získané dle vzorce 4.16

Pro podélný vítr $c_{pi,10} = +0,200$

$$w_k^A = 0,548 \cdot (-1,200 - 0,200) = -0,767 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^B = 0,548 \cdot (-0,800 - 0,200) = -0,548 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^C = 0,548 \cdot (-0,500 - 0,200) = -0,384 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^D = 0,548 \cdot (+0,700 - 0,200) = +0,274 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^E = 0,548 \cdot (-0,300 - 0,200) = -0,274 \text{ kN/m}^2$$

Pro podélný vítr $c_{pi,10} = -0,300$

$$w_k^A = 0,548 \cdot (-1,200 + 0,300) = -0,493 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^B = 0,548 \cdot (-0,800 + 0,300) = -0,274 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^C = 0,548 \cdot (-0,500 + 0,300) = -0,110 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^D = 0,548 \cdot (+0,700 + 0,300) = +0,548 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^E = 0,548 \cdot (-0,3 + 0,3) = 0,000 \text{ kN/m}^2$$

Tlak větru pro svislé stěny (příčný vítr)

Výška konstrukce

$$h = 6,2 \text{ m}$$

Půdorysný rozměr rovnoběžný se směrem větru

$$d_v = 15 \text{ m}$$

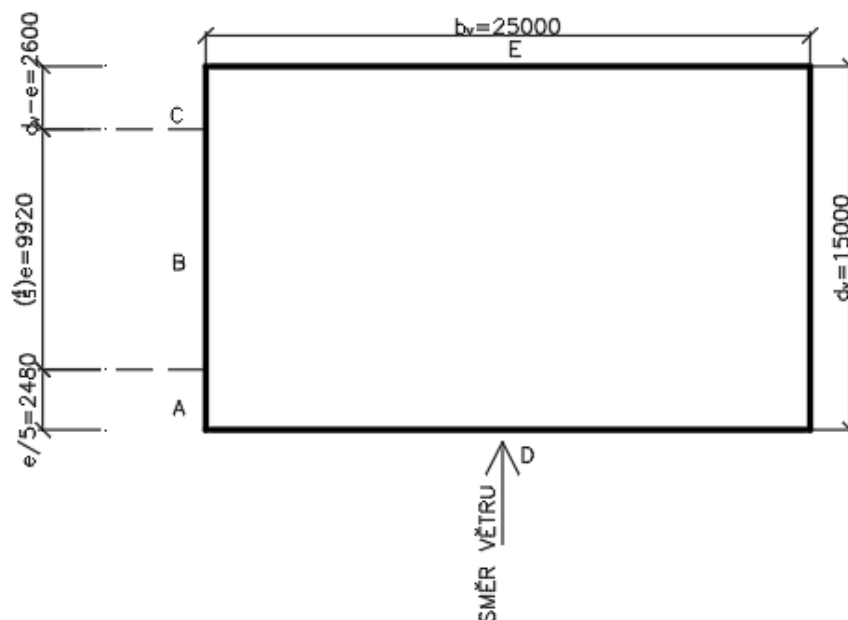
Půdorysný rozměr kolmý na směr větru

$$b_v = 25 \text{ m}$$

$$e = \min. (b_v = 25; 2 h = 2 \cdot 6,2 = 12,4) = 12,4 \text{ m} \quad (4.17)$$

$$e = 12,4 \text{ m} < d_v = 25 \text{ m} \quad \text{Podmínka splněna, použito} \quad (4.18)$$

rozdělení součinitelů vnějšího tlaku
na ploše dle obrázku 4.2



Obrázek 4.2 – Rozdělení stěny do polí pro příčný vítr (půdorys objektu)

$$\frac{h}{d_v} = \frac{6,2}{15} = 0,388 \quad (4.19)$$

Hodnoty součinitelů vnějších tlaků

$$c_{pe,10}^A = -1,200$$

$$c_{pe,10}^D = +0,718$$

$$c_{pe,10}^B = -0,800$$

$$c_{pe,10}^E = -0,337$$

$$c_{pe,10}^C = -0,500$$

Hodnoty součinitelů vnitřních tlaků

$$c_{pi,10} = +0,200$$

$$c_{pi,10} = -0,300$$

Výsledné tlaky větru získané dle vzorce 4.16

Pro příčný vítr $c_{pi,10} = +0,200$

$$w_k^A = 0,548 \cdot (-1,200 - 0,200) = -0,767 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^B = 0,548 \cdot (-0,800 - 0,200) = -0,548 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^C = 0,548 \cdot (-0,500 - 0,200) = -0,384 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^D = 0,548 \cdot (+0,718 - 0,200) = +0,284 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^E = 0,548 \cdot (-0,337 - 0,200) = -0,294 \text{ kN/m}^2$$

Pro příčný vítr $c_{pi,10} = -0,300$

$$w_k^A = 0,548 \cdot (-1,200 + 0,300) = -0,493 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^B = 0,548 \cdot (-0,800 + 0,300) = -0,274 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^C = 0,548 \cdot (-0,500 + 0,300) = -0,110 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^D = 0,548 \cdot (+0,718 + 0,300) = +0,558 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^E = 0,548 \cdot (-0,337 + 0,300) = -0,020 \text{ kN/m}^2$$

Tlak větru pro střechu (podélný vítr)

Výška konstrukce

$$h = 6,2 \text{ m}$$

Výška atiky

$$h_p = 0,2 \text{ m}$$

Půdorysný rozměr rovnoběžný se směrem větru

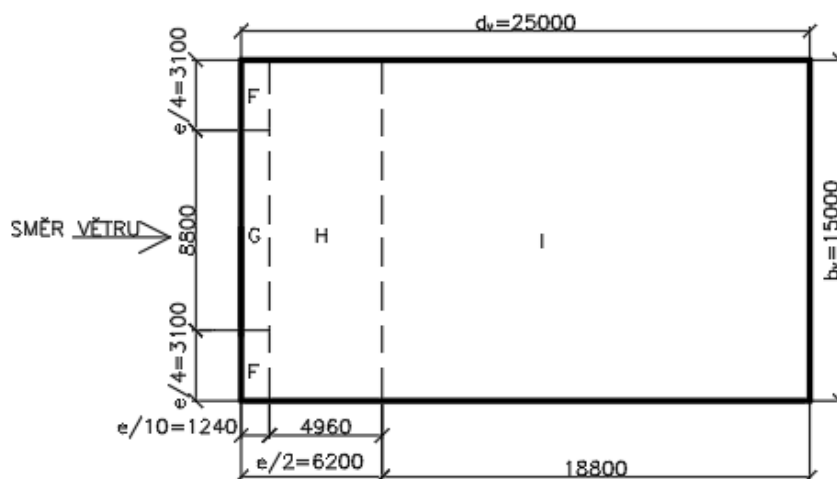
$$d_v = 25 \text{ m}$$

Půdorysný rozměr kolmý na směr větru

$$b_v = 15 \text{ m}$$

$$e = \min. (b_v = 15; 2 h = 2 \cdot 6,2 = 12,4) = 12,4 \text{ m} \quad (4.17)$$

Výsledné rozdělení součinitelů vnějšího tlaku větru na ploše je vyjádřeno na obrázku 4.3.



Obrázek 4.3 – Rozdělení střechy do polí pro podélný vítr (půdorys objektu)

$$\frac{h_p}{h} = \frac{0,2}{6} = 0,033 \quad (4.20)$$

Hodnoty součinitelů vnějších tlaků

$$c_{pe,10}^F = -1,536$$

$$c_{pe,10}^{I+} = +0,200$$

$$c_{pe,10}^G = -1,094$$

$$c_{pe,10}^{I-} = -0,200$$

$$c_{pe,10}^H = -0,700$$

Hodnoty součinitelů vnitřních tlaků

$$c_{pi,10} = +0,200$$

$$c_{pi,10} = -0,300$$

Výsledné tlaky větru získané dle vzorce 4.16

Pro podélný vítr $c_{pi,10} = +0,200$

$$w_k^F = 0,548 \cdot (-1,536 - 0,200) = -0,951 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^G = 0,548 \cdot (-1,094 - 0,200) = -0,709 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^H = 0,548 \cdot (-0,700 - 0,200) = -0,493 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I+} = 0,548 \cdot (+0,200 - 0,200) = 0,000 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I-} = 0,548 \cdot (-0,200 - 0,200) = -0,219 \text{ kN/m}^2$$

Pro podélný vítr $c_{pi,10} = -0,300$

$$w_k^F = 0,548 \cdot (-1,536 + 0,300) = -0,677 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^G = 0,548 \cdot (-1,094 + 0,300) = -0,435 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^H = 0,548 \cdot (-0,700 + 0,300) = -0,219 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I+} = 0,548 \cdot (+0,200 + 0,300) = +0,274 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I-} = 0,548 \cdot (-0,200 + 0,300) = +0,055 \text{ kN/m}^2$$

Tlak větru pro střechu (příčný vítr)

Výška konstrukce

$$h = 6,2 \text{ m}$$

Výška atiky

$$h_p = 0,2 \text{ m}$$

Půdorysný rozměr rovnoběžný se směrem větru

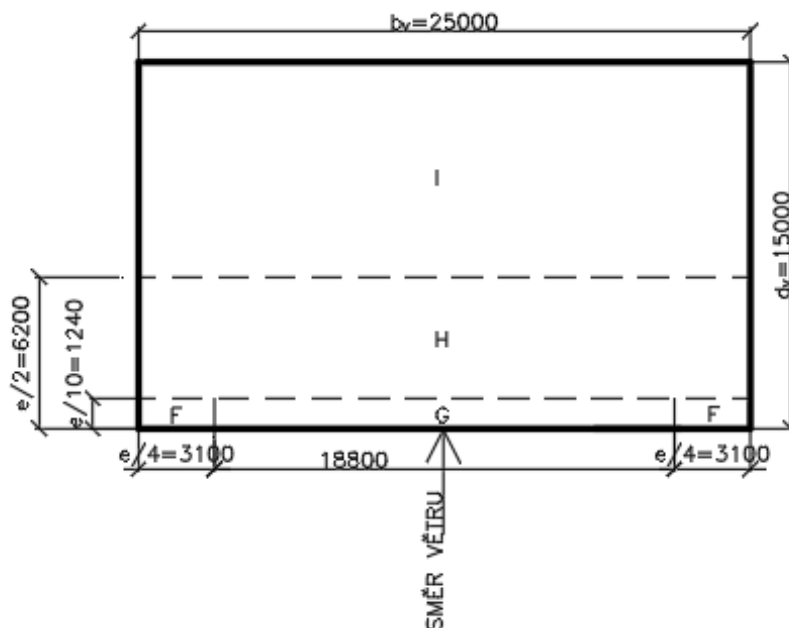
$$d_v = 15 \text{ m}$$

Půdorysný rozměr kolmý na směr větru

$$b_v = 25 \text{ m}$$

$$e = \min. (b_v = 25; 2 h = 2 \cdot 6,2 = 12,4) = 12,4 \text{ m} \quad (4.17)$$

Výsledné rozdělení součinitelů vnějšího tlaku větru na ploše je vyjádřeno na obrázku 4.4.



Obrázek 4.4 – Rozdělení střechy do polí pro příčný vítr (půdorys objektu)

$$\frac{h_p}{h} = \frac{0,2}{6} = 0,033 \quad (4.20)$$

Hodnoty součinitelů vnějších tlaků

$$c_{pe,10}^F = -1,536$$

$$c_{pe,10}^{I+} = +0,200$$

$$c_{pe,10}^G = -1,094$$

$$c_{pe,10}^{I-} = -0,200$$

$$c_{pe,10}^H = -0,700$$

Hodnoty součinitelů vnitřních tlaků

$$c_{pi,10} = +0,200$$

$$c_{pi,10} = -0,300$$

Výsledné tlaky větru získané dle vzorce 4.16

Pro příčný vítr $c_{pi,10} = +0,200$

$$w_k^F = 0,548 \cdot (-1,536 - 0,200) = -0,951 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^G = 0,548 \cdot (-1,094 - 0,200) = -0,709 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^H = 0,548 \cdot (-0,700 - 0,200) = -0,493 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I+} = 0,548 \cdot (+0,200 - 0,200) = 0,000 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I-} = 0,548 \cdot (-0,200 - 0,200) = -0,219 \text{ kN/m}^2$$

Pro příčný vítr $c_{pi,10} = -0,300$

$$w_k^F = 0,548 \cdot (-1,536 + 0,300) = -0,677 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^G = 0,548 \cdot (-1,094 + 0,300) = -0,435 \text{ kN/m}^2$$

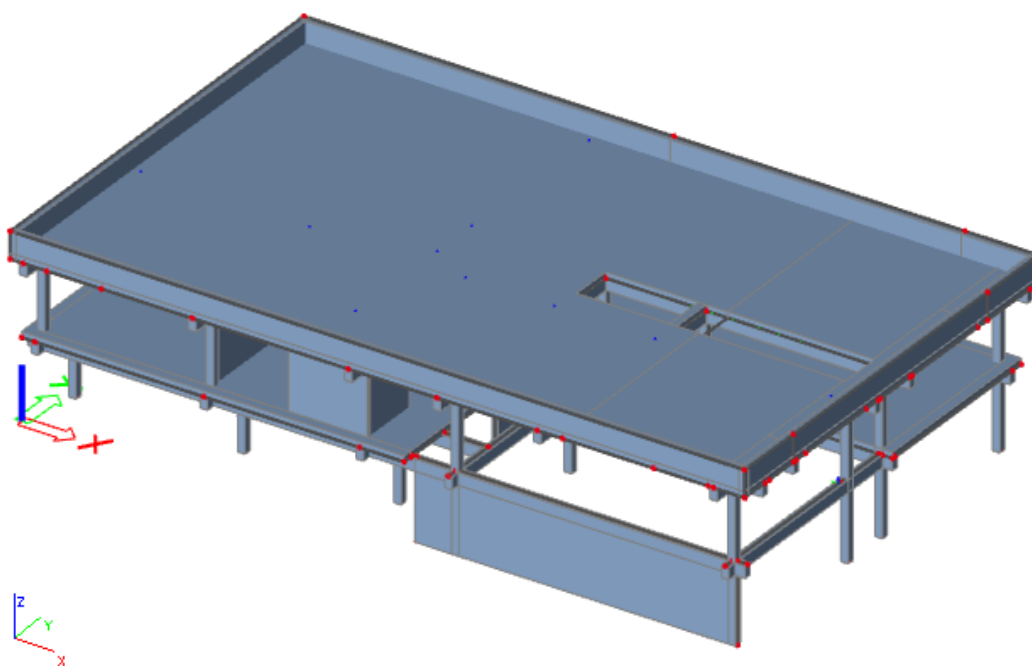
$$w_k^H = 0,548 \cdot (-0,700 + 0,300) = -0,219 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I+} = 0,548 \cdot (+0,200 + 0,300) = +0,274 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I-} = 0,548 \cdot (-0,200 + 0,300) = +0,055 \text{ kN/m}^2$$

5 Výstupy modelu MKP softwaru

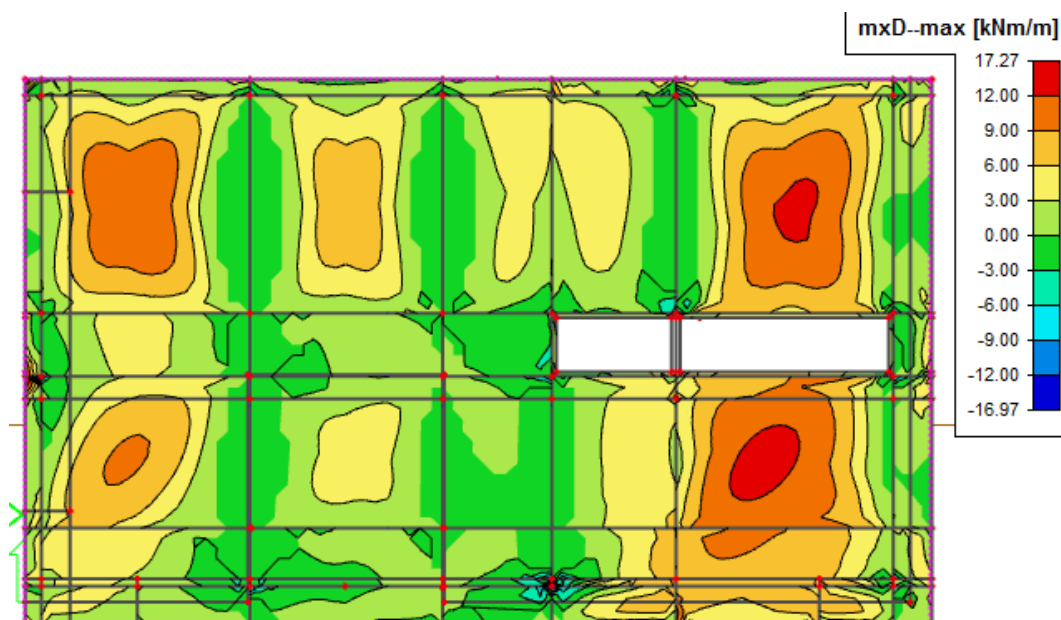
Výpočetní 3D model je vytvořen v programu Scia Engineer 17.01. Železobetonové nosné stěny a atika jsou tvořeny prvkem stěna, stropní konstrukce prvkem deska, průvlaky a sloupy prvkem dílec. Všechna spojení nosných prvků jsou modelována jako tuhá, uložení stěn a sloupů v 1. NP v úrovni podlahy je tvořeno vetknutím. Celkem je v modelu 26 zatěžovacích stavů a z nich vygenerováno 54 obálek kombinací zatížení dle národního dodatku ČSN EN NA. Všechny následující výstupy vnitřních sil jsou použity pro návrh a posouzení železobetonových prvků.



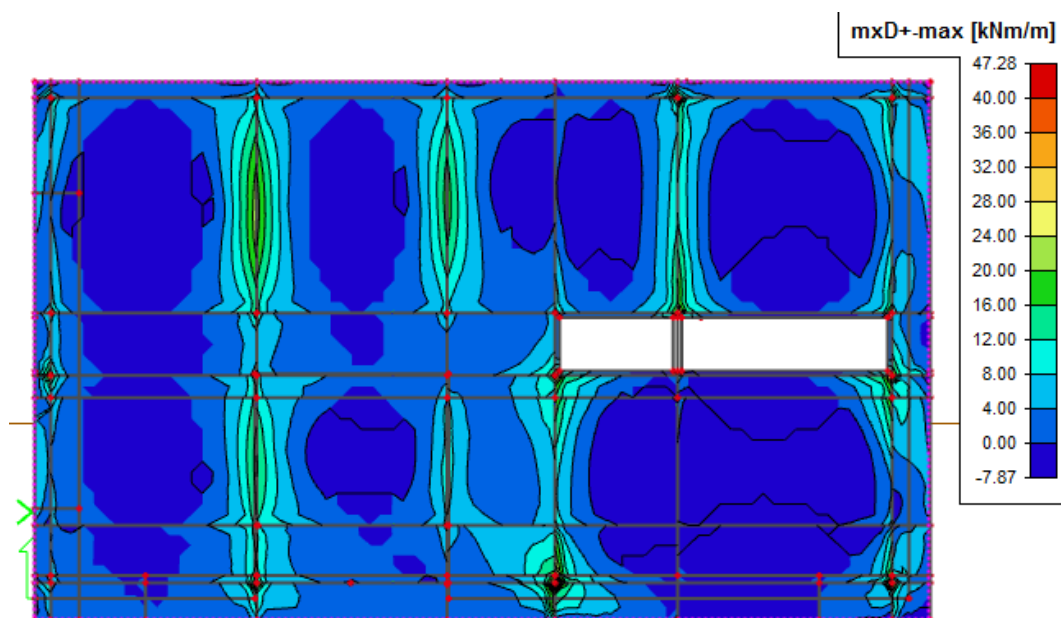
Obrázek 5.1 – 3D model konstrukce vytvořený v programu Scia Engineer 17.01

5.1 Vnitřní síly na stropní desce nad 2. NP

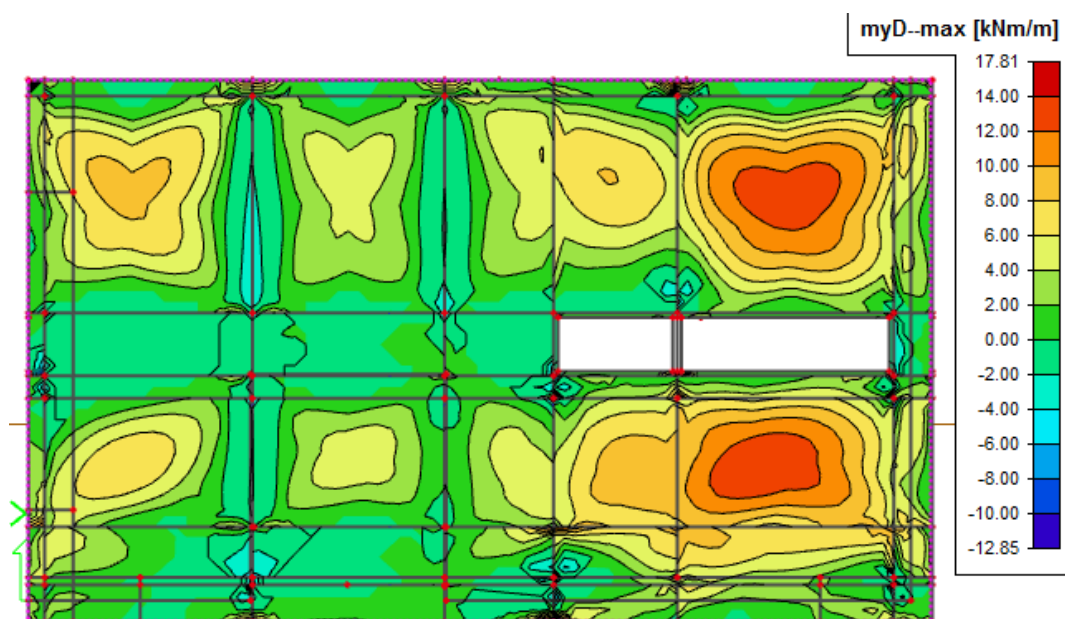
Obálky návrhových maximálních ohybových momentů ve směru x (delší strana konstrukce) a y (kratší strana konstrukce).



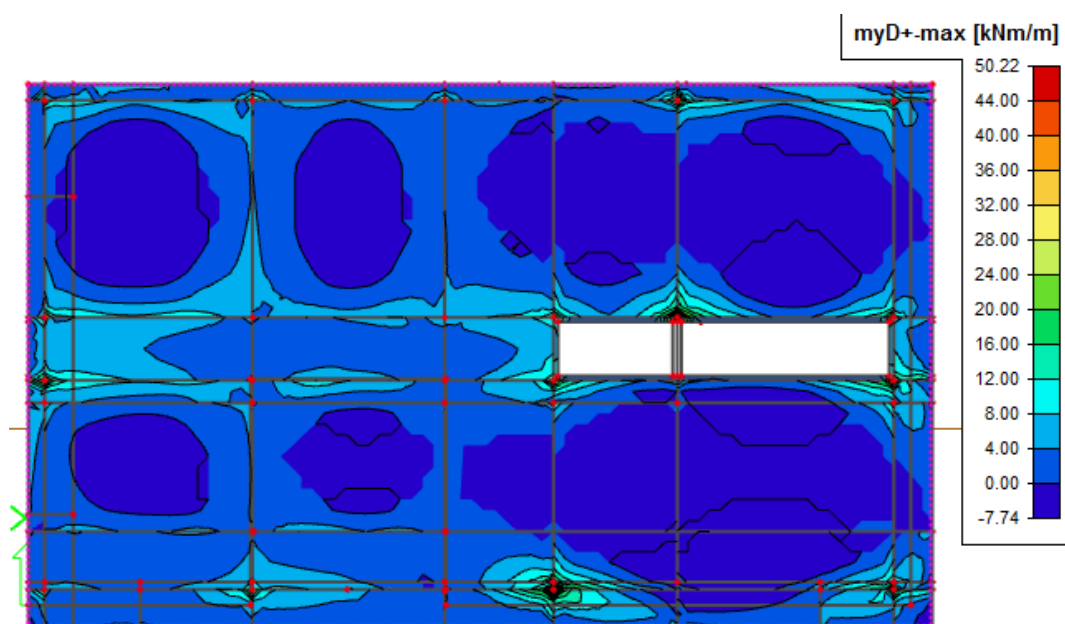
Obrázek 5.2 – Obálka dimenzačních ohybových momentů ve směru x, dolní okraj desky



Obrázek 5.3 – Obálka dimenzačních ohybových momentů ve směru x, horní okraj desky



Obrázek 5.4 – Obálka dimenzačních ohybových momentů ve směru y, dolní okraj desky



Obrázek 5.5 – Obálka dimenzačních ohybových momentů ve směru y, horní okraj desky

Výsledné návrhové momenty vypočtené softwarem

Při určení rozhodujících návrhových ohybových momentů byly zohledněny extrémní momenty v blízkosti 1D prvků. Ty byly zredukovány a uvažovány momenty ve větší vzdálenosti a to na hraně prvků (sloupy a průvlaky ve skutečnosti nejsou 1D prvky, jako jsou

modelovány, ale mají své rozměry). Výsledné návrhové ohybové momenty jsou vyznačeny tučně. Návrhové ohybové momenty u horního povrchu mají ve skutečnosti zápornou znaménkovou konvenci, přesto že jsou vykreslovány s konvencí kladnou, ohybové momenty v poli jsou naopak kladné, přesto že konvence je softwarem vykreslena jako záporná. Deska je uvažována jako spojitá, podepřena průvlaky v obou směrech, není nutno ji posuzovat na posouvající síly.

$$m_{Ed,x+} = 17,27 \text{ kNm/m}; -12,00 \text{ kNm/m}$$

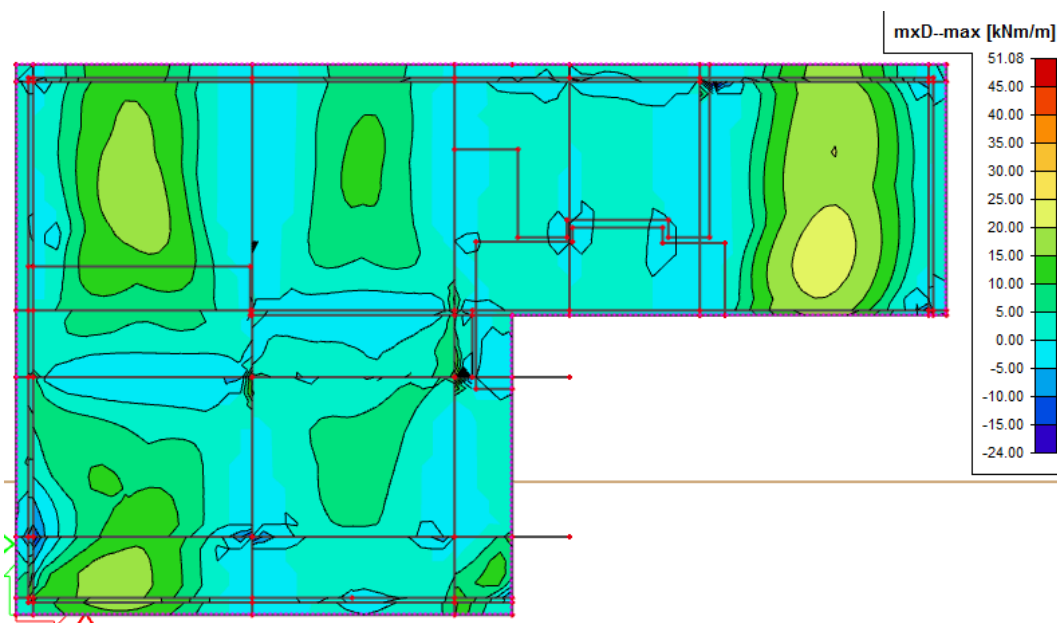
$$m_{Ed,x-} = 28,00 \text{ kNm/m}; -7,87 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,y+} = 17,81 \text{ kNm/m}; -12,85 \text{ kNm/m}$$

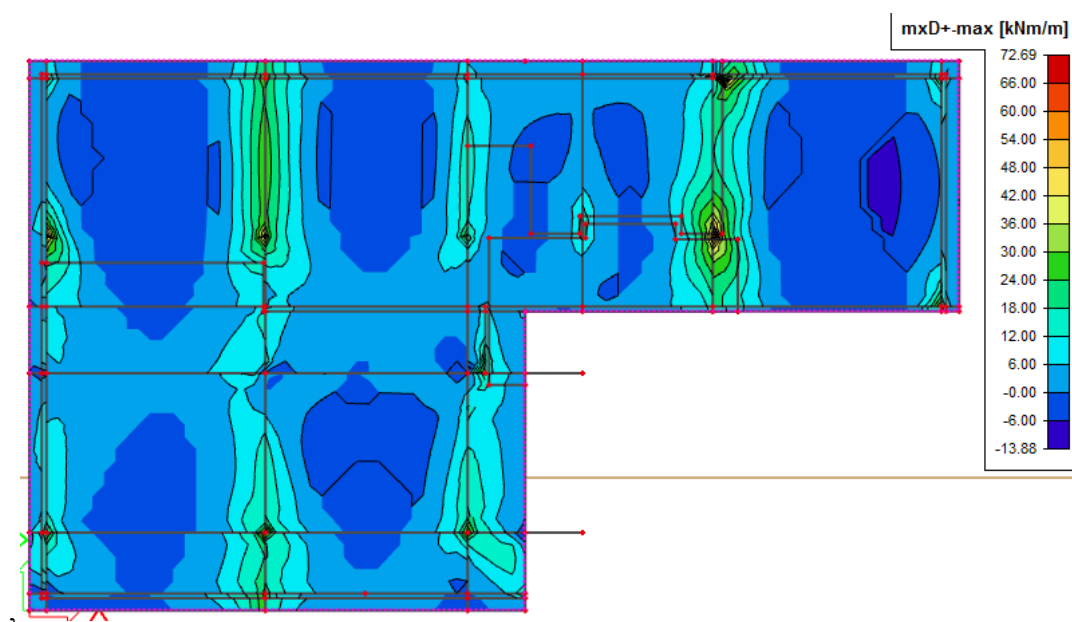
$$m_{Ed,y-} = 28,00 \text{ kNm/m}; -7,44 \text{ kNm/m}$$

5.2 Vnitřní síly na stropní desce nad 1. NP

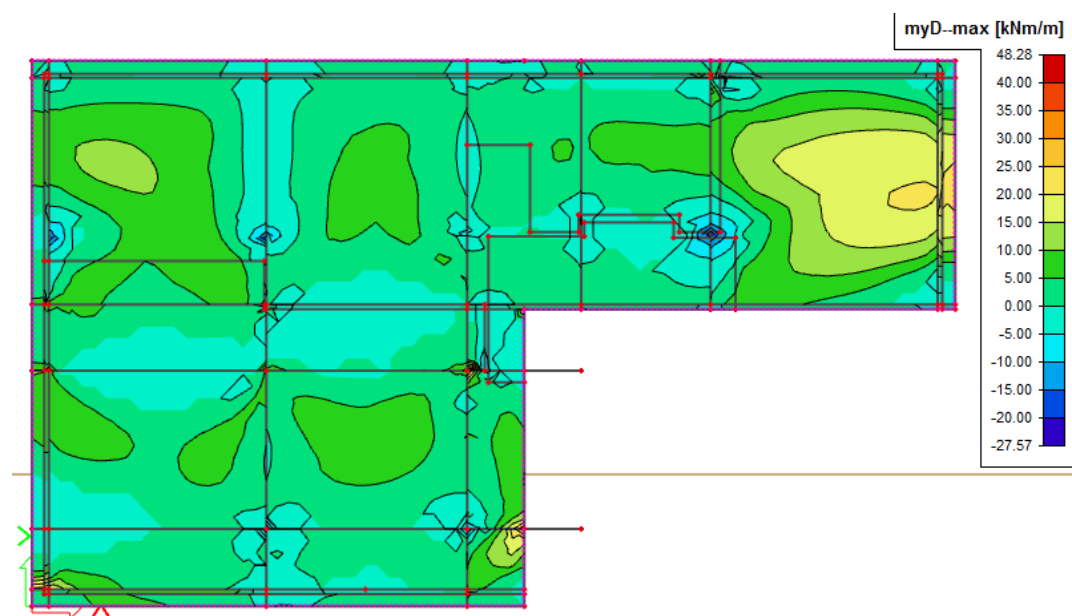
Obálky návrhových maximálních ohybových momentů ve směru x (delší strana konstrukce) a y (kratší strana konstrukce).



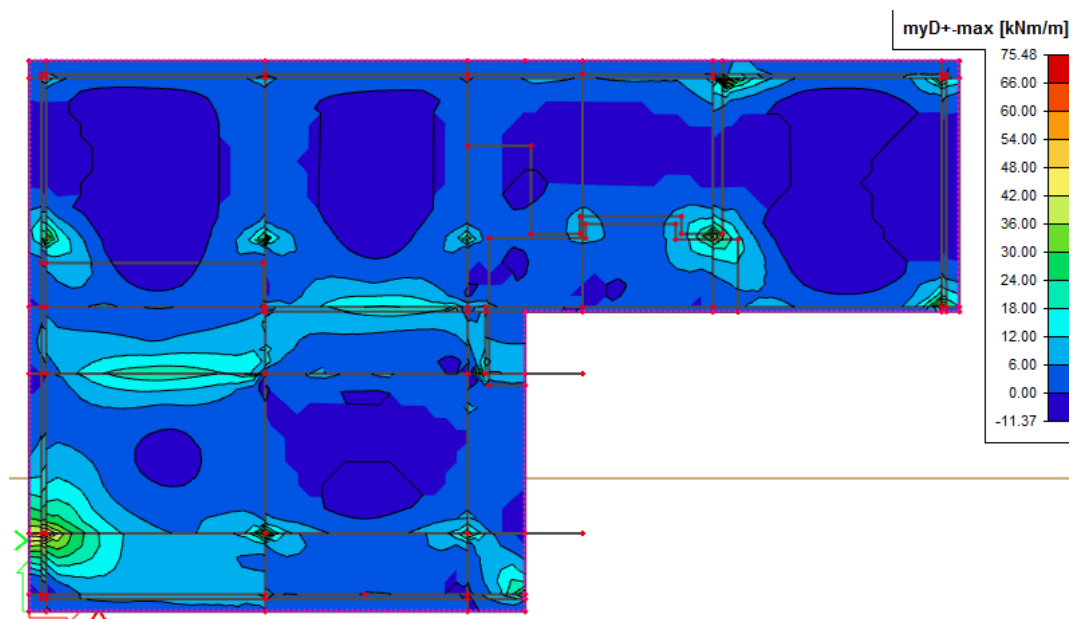
Obrázek 5.6 – Obálka dimenzačních ohybových momentů ve směru x, dolní okraj desky



Obrázek 5.7 – Obálka dimenzačních ohybových momentů ve směru x, horní okraj desky



Obrázek 5.8 – Obálka dimenzačních ohybových momentů ve směru y, dolní okraj desky



Obrázek 5.9 – Obálka dimenzačních ohybových momentů ve směru y, horní okraj desky

Výsledné návrhové momenty vypočtené softwarem

Pro určení rozhodujících návrhových ohybových momentů byly zohledněny stejné předpoklady a znaménková konvence jako u výpočtu výsledných návrhových ohybových momentů na desce nad 2. NP – viz kapitola 5.1. Výsledné návrhové ohybové momenty jsou vyznačeny tučně.

$$m_{Ed,x+} = \mathbf{35,00 \text{ kNm/m}}; -10,00 \text{ kNm/m}$$

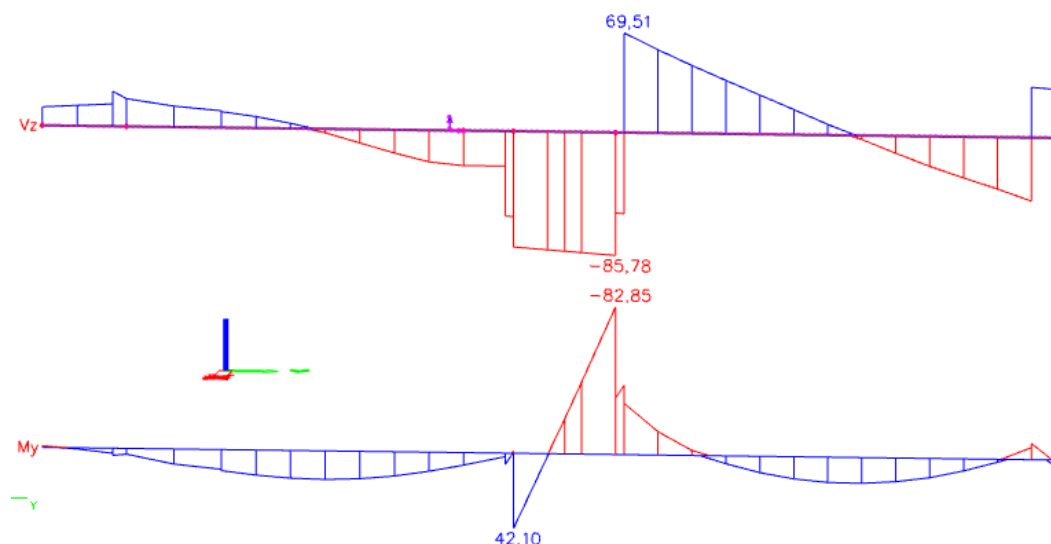
$$m_{Ed,x-} = \mathbf{30,00 \text{ kNm/m}}; -13,88 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,y+} = \mathbf{30,00 \text{ kNm/m}}; -10,00 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Ed,y-} = \mathbf{24,00 \text{ kNm/m}}; -11,33 \text{ kNm/m}$$

5.3 Vnitřní síly na průvlaku E nad 2. NP

Na tomto průvlaku vzniknou maximální návrhové ohybové momenty, které lze na průvlaku v konstrukci vůbec nalézt (kladný i záporný). K nim je vyjádřena příslušná, zároveň i maximální, posouvající síla tohoto průvlaku – viz obrázek 5.10.



Obrázek 5.10 – Obálka maximálních ohybových momentů [kNm] a příslušných posouvajících sil [kN] průvlaku E nad 2. NP

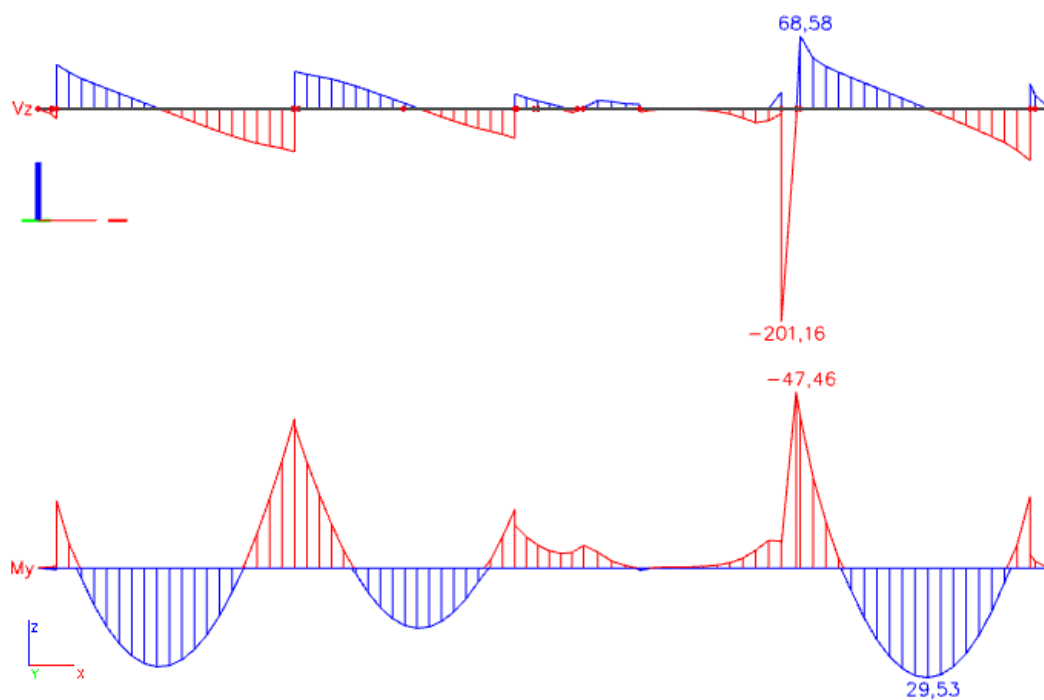
Výsledné návrhové momenty vypočtené softwarem

$$M_{Ed,max}^+ = 42,10 \text{ kNm}; M_{Ed,max}^- = -82,85 \text{ kNm}; V_{Ed,přísl} = -85,78 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max} = -85,78 \text{ kN}; M_{Ed,přísl}^+ = 42,10 \text{ kNm}; M_{Ed,přísl}^- = -82,85 \text{ kNm}$$

5.4 Vnitřní síly na průvlaku 1 nad 1. NP

Na tomto průvlaku vzniknou maximální návrhové posouvající síly, které lze na průvlaku v konstrukci vůbec nalézt. K nim je vyjádřen příslušný, zároveň i maximální, průběh ohybových momentů tohoto průvlaku – viz obrázek 5.11.



Obrázek 5.11 – Obálka maximálních posouvajících sil [kN] a příslušných ohybových momentů [kNm] průvlaku 1 nad 1. NP

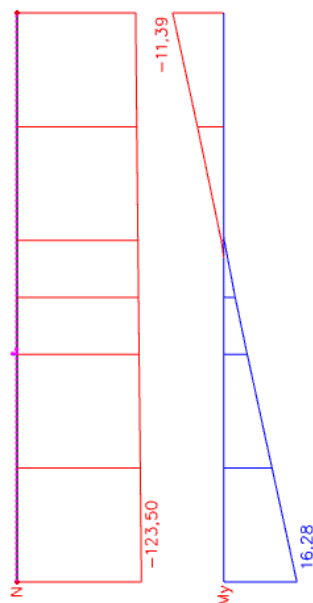
Výsledné návrhové momenty vypočtené softwarem

$$V_{Ed,max} = -201,16 \text{ kN}; M_{Ed,přísl}^+ = 29,53 \text{ kNm}; M_{Ed,přísl}^- = -47,46 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max}^+ = 29,53 \text{ kNm}; M_{Ed,max}^- = -47,46 \text{ kNm}; V_{Ed,přísl} = -201,16 \text{ kN}$$

5.5 Vnitřní síly na sloupu pod průnikem průvlaků 1 a A ve 2. NP

Na tomto sloupu vznikne maximální návrhový ohybový moment ve směru x, který na sloupu v konstrukci vůbec lze nalézt. K tomuto ohybovému momentu je nalezena příslušná, zároveň maximální, normálová síla tohoto sloupu.



Obrázek 5.12 – Obálka maximálních ohybových momentů ve směru x [kNm] a příslušných, zároveň i maximálních, normálových sil [kN] na sloupu pod stykem průvlaků 1 a A ve 2. NP

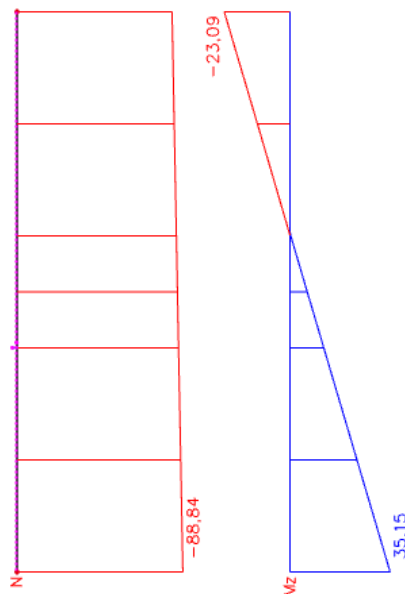
Výsledné momenty vypočtené softwarem

$$M_{Ed,x,max} = 16,28 \text{ kNm}; N_{Ed,přísl} = -123,50 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,max} = -123,50 \text{ kN}; M_{Ed,x,přísl} = 16,28 \text{ kNm}$$

5.6 Vnitřní síly na sloupu pod průnikem průvlaků 5 a A ve 2. NP

Na tomto sloupu vzniká maximální ohybový moment ve směru y, který na sloupu v konstrukci vůbec lze nalézt. K tomuto ohybovému momentu je nalezena příslušná, zároveň maximální, normálová síla tohoto sloupu.



Obrázek 5.13 – Obálka maximálních ohybových momentů ve směru y [kNm] a příslušných, zároveň i maximálních, normálových sil [kN] na sloupu pod stykem průvlaků 5 a A ve 2. NP

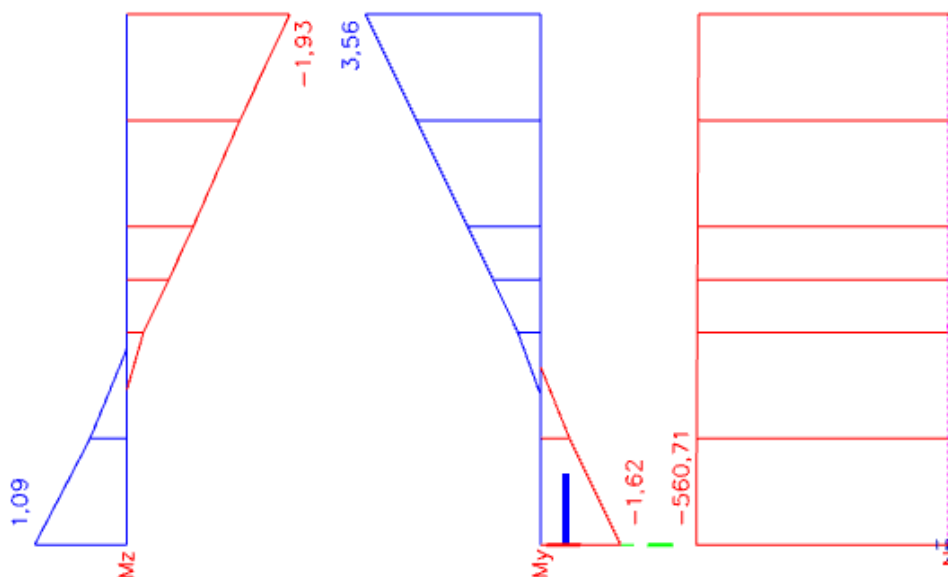
Výsledné momenty vypočtené softwarem

$$M_{Ed,y,max} = 35,15 \text{ kNm}; N_{Ed,přísl} = -88,84 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,max} = -88,84 \text{ kN}; M_{Ed,y,přísl} = 35,15 \text{ kNm}$$

5.7 Vnitřní síly na sloupu pod průnikem průvlaků 4 a B ve 1. NP

Na tomto sloupu vznikne maximální normálová síla, kterou na sloupu v konstrukci vůbec lze nalézt. K této normálové síle jsou nalezeny příslušné, a zároveň maximální, ohybové momenty tohoto sloupu.



Obrázek 5.14 – Obálka maximálních normálových sil [kN] a příslušných, zároveň i maximálních, ohybových momentů ve směru x a y [kNm] na sloupu pod stykem průvlaků 4 a B ve 1. NP

Výsledné momenty vypočtené softwarem

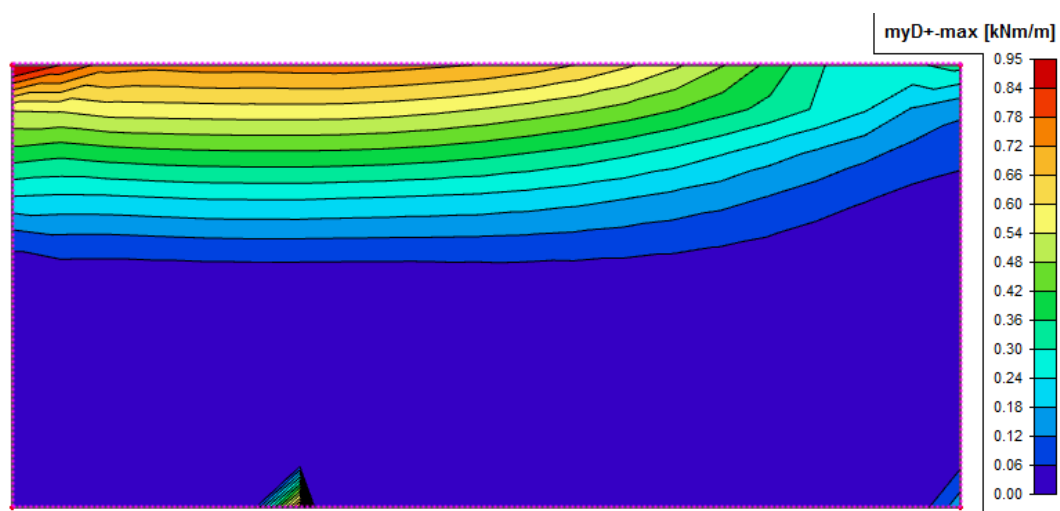
$$N_{Ed,max} = -560,71 \text{ kN}; M_{Ed,x,přísl} = 3,56 \text{ kNm}; M_{Ed,y,přísl} = -1,93 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,x,max} = 3,56 \text{ kNm}; N_{Ed,přísl} = -560,71 \text{ kN}$$

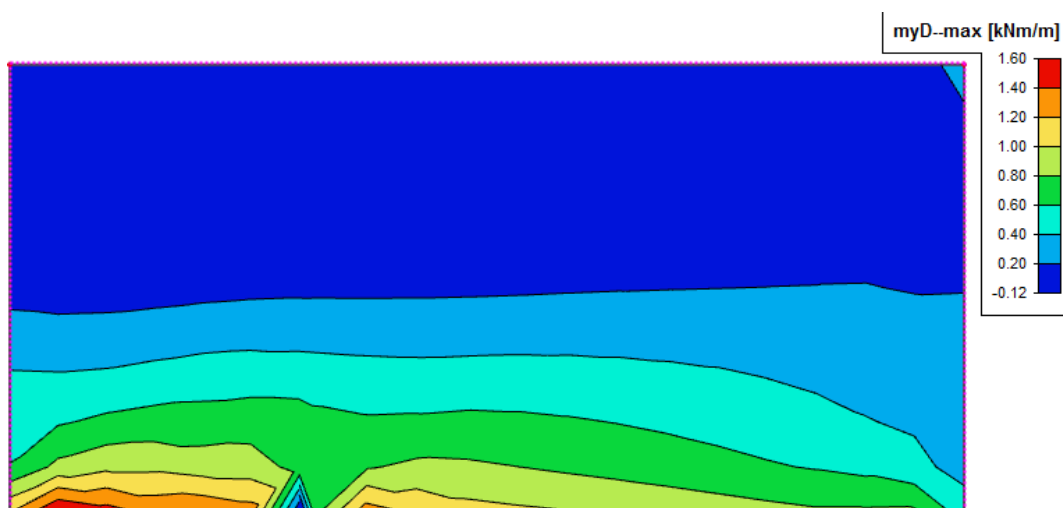
$$M_{Ed,y,max} = -1,93 \text{ kNm}; N_{Ed,přísl} = -560,71 \text{ kN}$$

5.8 Vnitřní síly na stěně v 2. NP mezi místnostmi 201, 216 a 202

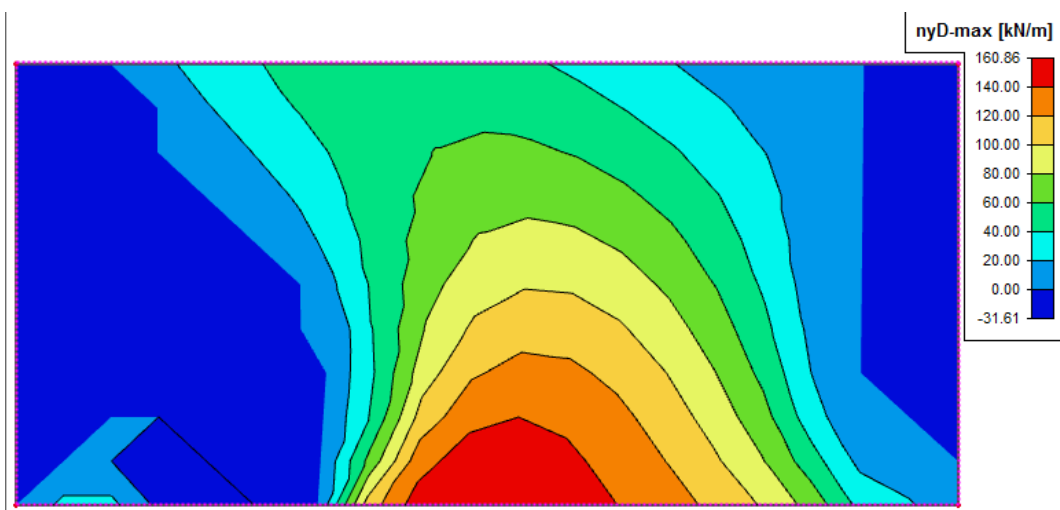
Obálky návrhových maximálních ohybových momentů a příslušných, zároveň i maximálních, normálových sil. Obálky jsou vykresleny jen pro převládající směr stěny, v opačném směru jsou hodnoty menší, proto zde ani nejsou zobrazeny.



Obrázek 5.15 – Obálka dimenzačních ohybových momentů



Obrázek 5.16 – Obálka dimenzačních ohybových momentů



Obrázek 5.17 – Obálka dimenzačních normálových sil

Výsledné momenty vypočtené softwarem

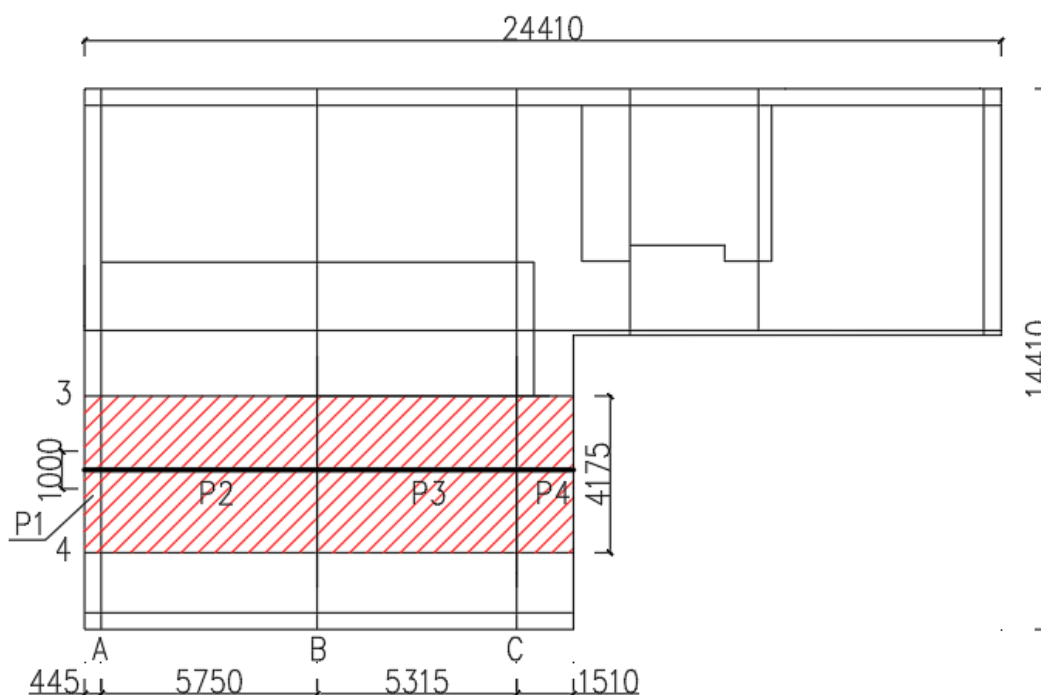
$$m_{Ed,max} = 1,60 \text{ kNm/m}; n_{Ed,přísl} = 160,86 \text{ kN/m}$$

$$n_{Ed,max} = 160,86 \text{ kN/m}; m_{Ed,přísl} = 1,60 \text{ kNm/m}$$

6 Výpočet vnitřních sil na vybraných prvcích zjednodušenými modely

6.1 Výpočet vnitřních sil na desce nad 1. NP

Výpočet je proveden pro kontrolu správnosti výpočtu 3D MKP modelu. V následujícím výpočtu jsou spočteny ohybové momenty na desce nad 1. NP tlusté 0,2 m v místě mezi průvlaky 3 a 4 – viz obrázek 6.1.



Obrázek 6.1 – Náčrtek desky, červeně vyšrafovaná část je vypočtena v následujících krocích

Zatížení na desku

Pro rozdělení zatížení je použita metoda náhradních spojitých nosníků. Předpokládá se, že maximální průhyb desky uprostřed plochy, vyvolaný spojitým plošným zatížením, je stejný pro oba směry. Z tohoto předpokladu jsou dopočteny hodnoty zatížení, vyvolávající tento průhyb, pro každý ze směrů. Pro zjednodušení jsou zanedbána některá zatížení a kombinační součinitelé zatížení.

Zatížení stálá

Vlastní tíha	$g_{k1} = 0,2 \cdot 25 = 5,000 \text{ kN/m}^2$	
	$g_{d1} = g_{k1} \cdot \gamma_G = 5,000 \cdot 1,35 = 6,750 \text{ kN/m}$	(6.1)

Od podlahy	$g_{k2} = 1,416 \text{ kN/m}^2$	
	$g_{d2} = g_{k2} \cdot \gamma_G = 1,416 \cdot 1,35 = 1,912 \text{ kN/m}^2$	(6.2)

Zatížení proměnná (užitná)

A (stropní konstrukce)	$q_{k1} = 1,500 \text{ kN/m}^2$	
	$q_{d1} = q_{k1} \cdot \gamma_Q = 1,500 \cdot 1,5 = 2,250 \text{ kN/m}^2$	(6.3)

Ekvivalentní rovnoměrné zatížení od příček	$q_{k2} = 0,500 \text{ kN/m}^2$	
	$q_{d2} = q_{k2} \cdot \gamma_Q = 0,500 \cdot 1,5 = 0,750 \text{ kN/m}^2$	(6.4)

Zatížení celkem	$p_d = g_{d1} + g_{d2} + q_{d1} + q_{d2} = 6,750 + 1,912 +$	(6.5)
	$+ 2,250 + 0,750 = 11,662 \text{ kN/m}^2$	

Rozdělení zatížení do směru x a y

$$I_x = I_y \quad (6.6)$$

$$w_x = w_y \quad (6.7)$$

$$p_{dx} + p_{dy} = p_d \quad (6.8)$$

Výpočet pro pole P1

$$\frac{p_{dy} \cdot L_y^4}{384 \cdot E_c \cdot I_y} = \frac{p_{dx} \cdot L_x^4}{8 \cdot E_c \cdot I_x} \quad (6.9)$$

$$p_{dy} = \frac{384 \cdot L_x^4 \cdot p_d}{8 \cdot L_y^4 + 384 \cdot L_x^4} = \frac{384 \cdot 0,445^4 \cdot 11,662}{8 \cdot 4,175^4 + 384 \cdot 0,445^4} = 0,072 \text{ kN/m}^2 \quad (6.10)$$

$$p_{dx} = p_d - p_{dy} = 11,662 - 0,072 = 11,590 \text{ kN/m}^2 \quad (6.11)$$

Výpočet pro pole P2

$$\frac{p_{dx} \cdot L_x^4}{384 \cdot E_c \cdot I_x} = \frac{p_{dy} \cdot L_y^4}{384 \cdot E_c \cdot I_y} \quad (6.12)$$

$$p_{dy} = \frac{L_x^4 \cdot p_d}{L_x^4 + L_y^4} = \frac{5,750^4 \cdot 11,662}{5,750^4 + 4,175^4} = 9,126 \text{ kN/m}^2 \quad (6.13)$$

$$p_{dx} = p_d - p_{dy} = 11,662 - 9,126 = 2,536 \text{ kN/m}^2 \quad (6.11)$$

Výpočet pro pole P3

$$\frac{p_{dx} \cdot L_x^4}{384 \cdot E_c \cdot I_x} = \frac{p_{dy} \cdot L_y^4}{384 \cdot E_c \cdot I_y} \quad (6.12)$$

$$p_{dy} = \frac{L_x^4 \cdot p_d}{L_x^4 + L_y^4} = \frac{5,315^4 \cdot 11,662}{5,315^4 + 4,175^4} = 8,446 \text{ kN/m}^2 \quad (6.13)$$

$$p_{dx} = p_d - p_{dy} = 11,662 - 8,446 = 3,216 \text{ kN/m}^2 \quad (6.11)$$

Výpočet pro pole P4

$$\frac{p_{dy} \cdot L_y^4}{384 \cdot E_c \cdot I_y} = \frac{p_{dx} \cdot L_x^4}{8 \cdot E_c \cdot I_x} \quad (6.9)$$

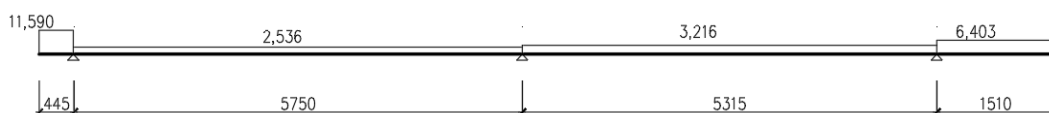
$$p_{dy} = \frac{384 \cdot L_x^4 \cdot p_d}{8 \cdot L_y^4 + 384 \cdot L_x^4} = \frac{384 \cdot 1,510^4 \cdot 11,662}{8 \cdot 4,175^4 + 384 \cdot 1,510^4} = 5,259 \text{ kN/m}^2 \quad (6.10)$$

$$p_{dx} = p_d - p_{dy} = 11,662 - 5,259 = 6,403 \text{ kN/m}^2 \quad (6.11)$$

Výpočet ohybových momentů

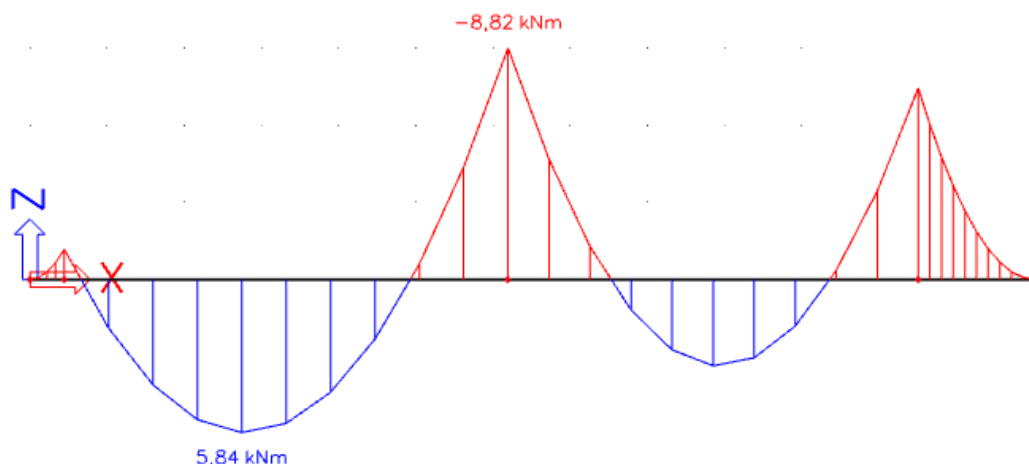
Výpočet je proveden na náhradním spojitým nosníku ve směru x v červeně vyšrafovaném poli o šířce 1 m – viz obrázek 6.1. Náhradní spojitý nosník je vyobrazen na obrázku 6.2.

I tento výpočet byl proveden pomocí MKP softwaru.



Obrázek 6.2 – Statické schéma náhradního spojitého nosníku

Výsledné ohybové momenty



Obrázek 6.3 – Výsledné ohybové momenty na náhradním nosníku [kNm/m]

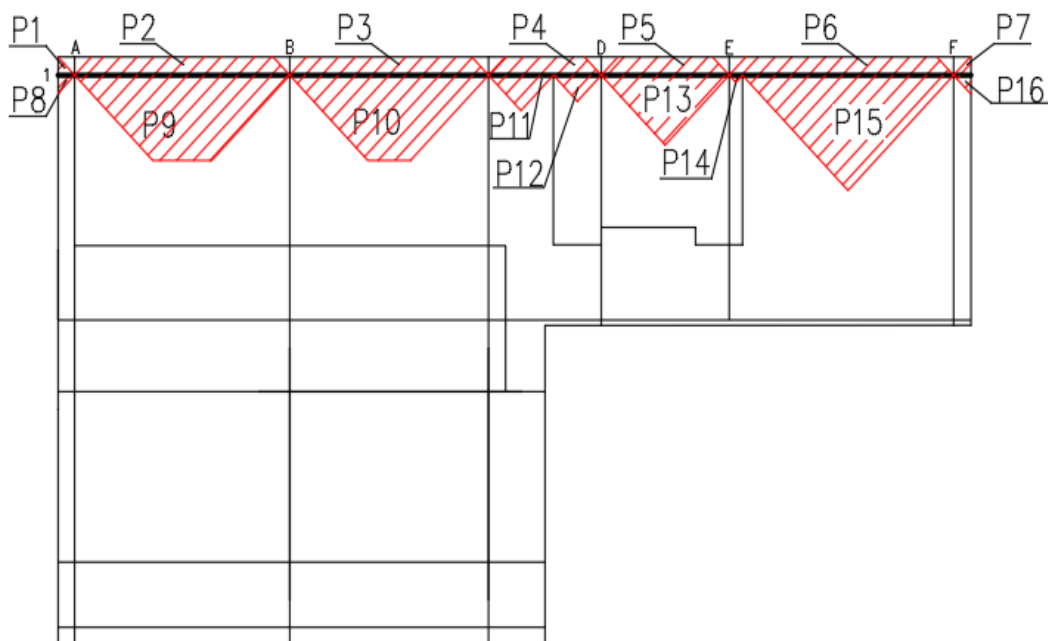
$$M_{Ed^+} = 5,84 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed^-} = -8,82 \text{ kNm/m}$$

Výsledné ohybové momenty jsou podobné výsledkům z 3D modelu, očekává se odlišnost až 20 %, tento předpoklad je splněn. Rozdíl je způsoben také zanedbáním některých zatížení ve zjednodušeném modelu. Pro návrh a posudek jsou použity výsledky 3D modelu z kapitoly 5.2, tento výpočet je pouze kontrolní.

6.2 Výpočet vnitřních sil na průvlaku 1 nad 1. NP

Výpočet je proveden pro kontrolu správnosti výpočtu 3D MKP modelu. Jsou zde spočteny posouvající síly na průvlaku 1 nad 1. NP o šířce 0,2 m a výšce 0,6 m – viz obrázek 6.5.



Obrázek 6.4 – Náčrtek půdorysu desky s vyznačeným průvlakem, jenž přebírá zatížení z červeně vyšrafovaných částí

Zatížení průvlaku

Je uvažováno s tuhým spojením desky s průvlakem a stěnami. Průvlak přenáší zatížení z okolních desek pod úhlem 45° při oboustranném vetknutí a plné zatížení pod úhlem 90° u volného konce – viz obrázek 6.5. Pro zjednodušení jsou zanedbána či zjednodušena některá zatížení a kombinační součinitelé zatížení.

Zatížení stálá

Vlastní tíha průvlaku

$$g_{k1} = 0,25 \cdot 0,4 \cdot 25 = 2,500 \text{ kN/m}$$

$$g_{d1} = g_{k1} \cdot \gamma_G = 2,500 \cdot 1,35 = 3,375 \text{ kN/m} \quad (6.1)$$

Tíha desky

$$g_{k2} = 0,2 \cdot 25 = 5,000 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{d2} = g_{k2} \cdot \gamma_G = 5,000 \cdot 1,35 = 6,750 \text{ kN/m}^2 \quad (6.2)$$

Od podlahy

$$g_{k3} = 1,416 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{d3} = g_{k3} \cdot \gamma_G = 1,416 \cdot 1,35 = 1,912 \text{ kN/m}^2 \quad (6.14)$$

Od pohledu

$$g_{k4} = 0,236 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{d4} = g_{k4} \cdot \gamma_G = 0,236 \cdot 1,35 = 0,319 \text{ kN/m}^2 \quad (6.15)$$

Zatížení proměnná (užitná)

B

$$q_{k1} = 2,500 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{d1} = q_{k1} \cdot \gamma_Q = 2,500 \cdot 1,5 = 3,750 \text{ kN/m}^2 \quad (6.3)$$

Ekvivalentní rovnoměrné

$$q_{k2} = 0,500 \text{ kN/m}^2$$

zatížení od příček

$$q_{d2} = q_{k2} \cdot \gamma_Q = 0,500 \cdot 1,5 = 0,750 \text{ kN/m}^2 \quad (6.4)$$

Zatížení celkem (bez průvlaku)

Nad místností 101, 106

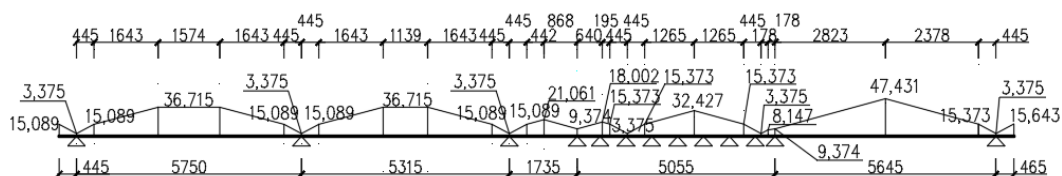
$$p_{d1} = g_{d2} + g_{d3} + q_{d1} + q_{d2} = 6,750 + 1,912 + 3,750 + 0,750 = 13,162 \text{ kN/m}^2 \quad (6.16)$$

Nad místností 105, 107–112

$$p_{d2} = g_{d2} + g_{d3} + g_{d4} + q_{d1} + q_{d2} = 6,750 + 1,912 + 0,319 + 3,750 + 0,750 = 13,481 \text{ kN/m}^2 \quad (6.17)$$

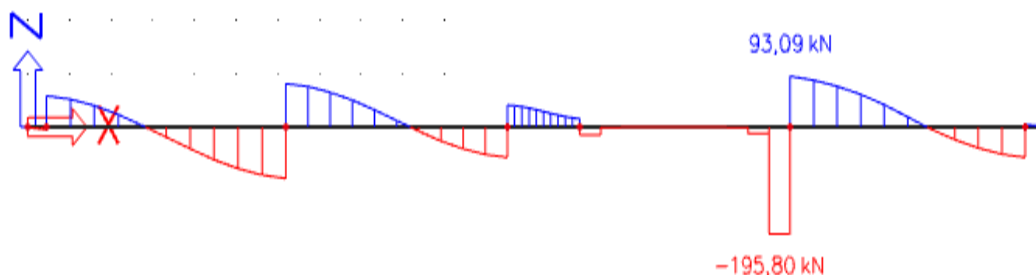
Výpočet posouvajících sil

Výpočet je proveden na prutovém prvku. Zatížení vlastní tíhou průvlaku je konstantní. Ostatní zatížení jsou nekonstantní a jsou přepočtena z plošného zatížení na liniová pomocí příslušné zatěžovací šířky. Také tento výpočet byl proveden pomocí MKP softwaru.



Obrázek 6.5 – Statické schéma průvlaku

Výsledné posouvající síly



Obrázek 6.6 – Výsledné posouvající síly [kN]

$$V_{Ed} = -195,80 \text{ kN}$$

Výsledné posouvající síly jsou obdobné jako výsledky z 3D modelu. Největší posouvající síla na průvlaku, z tohoto modelu, je oproti maximální posouvající síle, v tomto místě ve 3D modelu, menší přibližně o 3 %. Tento rozdíl je přípustný a očekávaný. Pro návrh a posudek jsou použity výsledky 3D modelu, tento výpočet je pouze kontrolní.

6.3 Výpočet vnitřních sil na schodišti

V této části je proveden výpočet ohybových momentů. Výpočet je proveden pouze na tomto modelu. Schodišťová deska je modelována jako prutový prvek o zatěžovací šířce 1,245 m. Uložení na začátku a konci zalomeného nosníku je uvažováno vetknutím, v místě zalomení kloubově. Na tyto ohybové momenty je schodiště navrženo a posouzeno.

Zatížení schodiště

Na podestě

Zatížení stálá

Vlastní tíha desky

$$g_{k1} = 0,2 \cdot 25 \cdot 1,245 = 6,225 \text{ kN/m}$$

$$g_{d1} = g_{k1} \cdot \gamma_G = 6,225 \cdot 1,35 = 8,404 \text{ kN/m} \quad (6.1)$$

Od podlahy $g_{k2} = 0,025 \cdot 1,245 = 0,031 \text{ kN/m}$
 $g_{d2} = g_{k2} \cdot \gamma_G = 0,031 \cdot 1,35 = 0,042 \text{ kN/m}$ (6.2)

Zatížení proměnná (užitná)

A (schodiště) $q_{k1} = 3,000 \cdot 1,245 = 3,735 \text{ kN/m}$
 $q_{d1} = q_{k1} \cdot \gamma_Q = 3,735 \cdot 1,5 = 5,603 \text{ kN/m}$ (6.3)

Celkové zatížení podesty $p_{dpod} = g_{d1} + g_{d2} + q_{d1} = 8,404 + 0,042 +$ (6.18)
 $+ 5,603 = 14,049 \text{ kN/m}$

Na rameni

Zatížení stálá

Vlastní tíha desky $g_{k3} = 0,2 \cdot 25 \cdot 1,245 = 6,225 \text{ kN/m}$
 $g_{d3} = g_{k3} \cdot \gamma_G = 6,225 \cdot 1,35 = 8,404 \text{ kN/m}$ (6.14)

Schodišťové stupně $g_{k4} = 18 \cdot 25 \cdot 0,5 \cdot 0,155 \cdot 0,3 \cdot 1,245 / 6,084 =$
 $= 2,141 \text{ kN/m}$
 $g_{d4} = g_{k4} \cdot \gamma_G = 2,141 \cdot 1,35 = 2,890 \text{ kN/m}$ (6.15)

Od podlahy $g_{k2} = 0,025 \cdot 1,245 = 0,031 \text{ kN/m}$
 $g_{d2} = g_{k2} \cdot \gamma_G = 0,031 \cdot 1,35 = 0,042 \text{ kN/m}$ (6.2)

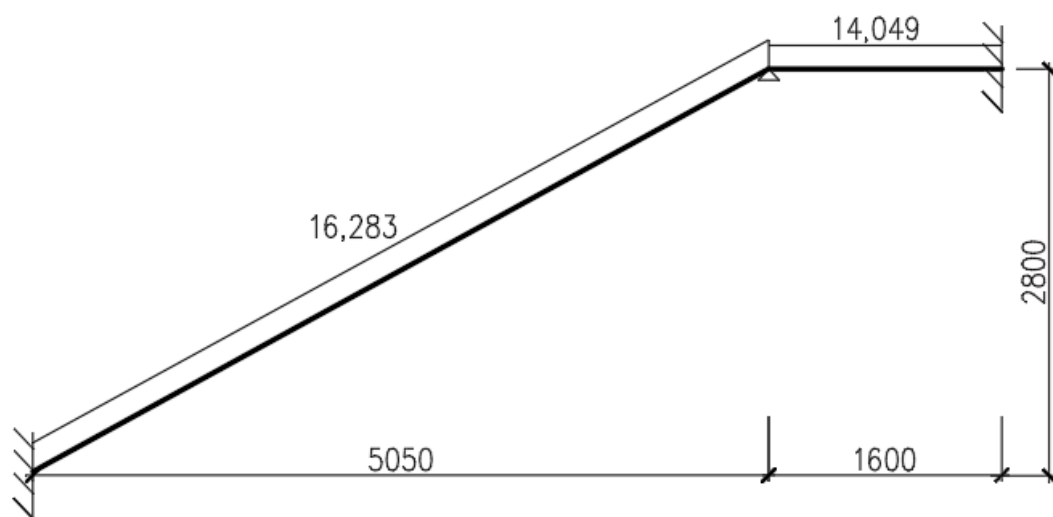
Zatížení proměnná (užitná)

A (schodiště) $q_{k2} = 3,000 \cdot 1,245 \cdot \cos 28^\circ = 3,298 \text{ kN/m}$
 $q_{d2} = q_{k2} \cdot \gamma_Q = 3,298 \cdot 1,5 = 4,947 \text{ kN/m}$ (6.4)

Celkové zatížení ramene $p_{dram} = g_{d3} + g_{d4} + g_{d2} + q_{d2} = 8,404 +$ (6.19)
 $+ 2,890 + 0,042 + 4,947 = 16,283 \text{ kN/m}$

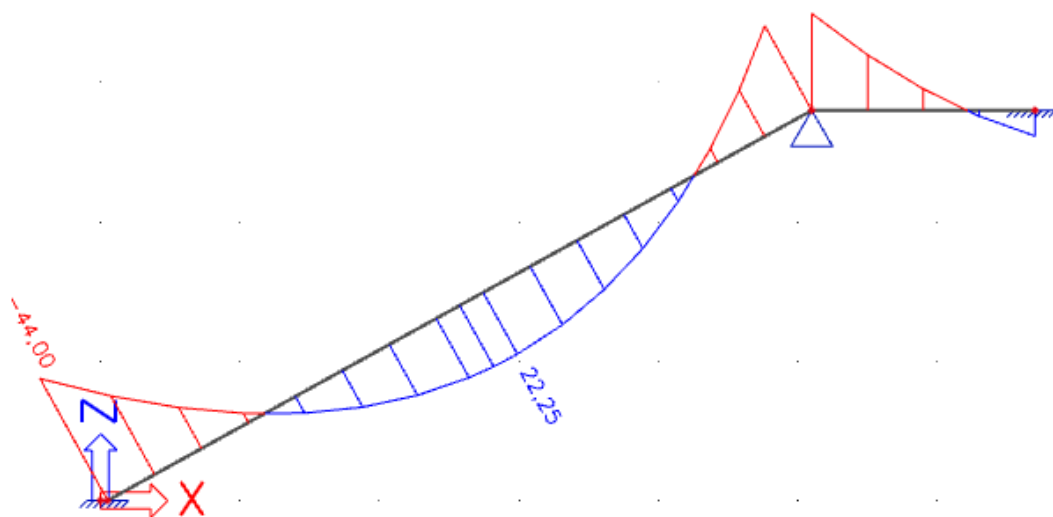
Výpočet ohybových momentů

Výpočet je proveden na prutovém prvku se zatěžovací šířkou 1,245 m pomocí MKP softwaru.



Obrázek 6.7 – Statické schéma schodiště

Výsledné ohybové momenty



Obrázek 6.8 – Výsledné ohybové momenty na schodišti [kNm]

$$M_{Ed}^{+} = 22,25 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^{-} = -44,00 \text{ kNm}$$

7 Návrh a posudek vybraných prvků konstrukce

Všechny posuzované konstrukce jsou navrženy z betonu C 30/37 a oceli B 500B. Posudky jsou prováděny dle metody mezní rovnováhy. Platí pro ně následující materiálové charakteristiky.

Materiálové charakteristiky

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$\alpha_{cc} = 1$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck} \cdot \alpha_{cc}}{\gamma_c} = \frac{30 \cdot 1}{1,5} = 20,00 \text{ MPa} \quad (7.1)$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} \quad (7.2)$$

$$f_{ctm} = 2,90 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk0,05} = 2,00 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk0,05} \cdot \alpha_{ct}}{\gamma_c} = \frac{2 \cdot 1}{1,5} = 1,33 \text{ MPa} \quad (7.3)$$

7.1 Návrh a posudek stropních desek

7.1.1 Návrh a posudek stropní desky nad 2. NP

Návrh

$$h_s = 200 \text{ mm}$$

Navržená výztuž

Směr x, dolní povrch: Ø 8/175 mm, $a_s = 287 \text{ mm}^2$

Směr x, horní povrch: Ø 12/190 mm, $a_s = 595 \text{ mm}^2$

Směr y, dolní povrch: Ø 8/175 mm, $a_s = 287 \text{ mm}^2$

Směr y, horní povrch: Ø 12/190 mm, $a_s = 595 \text{ mm}^2$

Krytí výztuže

Navržená deska má tloušťku 200 mm, nachází se ve stupni vlivu prostředí XC1 a je navržena pro konstrukční třídu S4, která je pro návrh krytí výztuže snížena na S2 (díky třídě betonu $\geq \text{C } 30/37$ a uložení výztuže v desce, čímž není ovlivněna poloha výztuže výrobním postupem).

$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$ (platí pro monolitické konstrukce)

$c_{min,b} = 12 \text{ mm} \geq \emptyset = 12 \text{ mm}$ pro horní povrch, 8 mm pro dolní povrch (7.4)

Podmínka vyhoví

$c_{min,dur} = 10 \text{ mm}$

$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$

$c_{min} = \max. (c_{min,b} = 12; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} = 10 + 0 + 0 + 0 = 10; 10 \text{ mm}) = 12 \text{ mm}$ (7.5)

$c_{nom,deska} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 12 + 10 \text{ mm} = 22 \text{ mm}$ (7.6)

Kotevní délka

Návrh platí pro všechny nosné výztuže v desce.

Výpočet proveden pro $\emptyset = 12$ mm, pro $\emptyset = 8$ mm vyhoví automaticky

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 2,99 \text{ MPa} \quad (7.7)$$

$$l_{bd,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{12}{4} \cdot \frac{434,78}{2,99} = 436,23 \text{ mm} \quad (7.8)$$

$$\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4; \alpha_5 = 1$$

$$l_{bd} = \alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4; \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 436,23 = 436,23 \text{ mm} \quad (7.9)$$

$$\text{návrh } l_{bd} = 440 \text{ mm}$$

$$l_{bd,min} = \max.(0,3 \cdot l_{bd,rqd} = 0,3 \cdot 436,26 = 130,87; 10 \cdot \emptyset = 10 \cdot 12 = 120; 20 \text{ mm}) = 130,87 \text{ mm} \quad (7.10)$$

$$l_{bd,min} = 130,87 \text{ mm} \leq l_{bd} = 440 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.11)$$

Posudek

Posouzení výztuže ve směru x u dolního povrchu

$$F_s = a_s \cdot f_{yd} = 287 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 124,78 \text{ kN} \quad (7.12)$$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{124,78 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 7,799 \text{ mm} \quad (7.13)$$

$$d = h_s - c_{nom,deska} - \emptyset_y - \frac{\emptyset}{2} = 200 - 22 - 8 - \frac{8}{2} = 166 \text{ mm} \quad (7.14)$$

$$m_{Rd,x}^+ = F_s \cdot \left(d - \frac{\lambda \cdot x}{2}\right) = 124,78 \cdot \left(0,166 - \frac{0,8 \cdot 0,008}{2}\right) = 20,31 \text{ kNm/m} \quad (7.15)$$

$$m_{Rd,x}^+ = 20,31 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed,x}^+ = 17,27 \text{ kNm/m} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.16)$$

Konstrukční zásady

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{7,799}{166} = 0,047 < \xi_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{200000}} = 0,617 \quad (7.17)$$

Podmínka vyhoví

$$a_{s,min} = \max. \left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1000 \cdot 166 = 250,33; \quad (7.18)\right.$$

$$0,0013 b \cdot d = 0,0013 \cdot 1000 \cdot 166 = 215,80) = 250,33 \text{ mm}^2$$

$$a_{s,min} = 250,33 \text{ mm}^2 \leq a_s = 287,00 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.19)$$

$$a_{s,max} = 0,04 a_c = 0,04 \cdot 1000 \cdot 200 = 8000,00 \text{ mm}^2 \quad (7.20)$$

$$a_{s,max} = 8000 \text{ mm}^2 \geq a_s = 287,00 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.21)$$

$$s_{max} = \min. (2 h_s; 250 \text{ mm} = 2 \cdot 200 = 400; 250) = 250,00 \text{ mm} \quad (7.22)$$

$$s_{max} = 250,00 \text{ mm} \geq s_{skut,os} = 175,00 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.23)$$

$$s_{min} = \max. (k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \quad (7.24)$$

$$= \max. (1,2 \cdot 8 = 9,6; 16 + 5 = 21; 20) = 21,00 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 21,00 \text{ mm} \leq s_{skut,sv} = 167,00 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.25)$$

Posouzení výztuže ve směru x u horního povrchu

$$F_s = a_s \cdot f_{yd} = 595 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 258,69 \text{ kN} \quad (7.12)$$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{258,69 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 16,168 \text{ mm} \quad (7.13)$$

$$d = h_s - c_{nom,deska} - \emptyset_y - \frac{\emptyset}{2} = 200 - 22 - 12 - \frac{12}{2} = 160 \text{ mm} \quad (7.14)$$

$$m_{Rd,x}^- = F_s \cdot (d - \frac{\lambda \cdot x}{2}) = 258,69 \cdot (0,160 - \frac{0,8 \cdot 0,016}{2}) = 39,73 \text{ kNm/m} \quad (7.15)$$

$$m_{Rd,x}^- = 39,73 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed,x}^- = 28,00 \text{ kNm/m} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.16)$$

Konstrukční zásady

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{16,168}{160} = 0,101 < \xi_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{200000}} = 0,617 \quad (7.17)$$

Podmínka vyhoví

$$a_{s,min} = \max. (0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1000 \cdot 160 = 241,28; \quad (7.18)$$

$$0,0013 b \cdot d = 0,0013 \cdot 1000 \cdot 160 = 208,00) = 241,28 \text{ mm}^2$$

$$a_{s,min} = 241,28 \text{ mm}^2 \leq a_s = 595,00 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.19)$$

$$a_{s,max} = 0,04 a_c = 0,04 \cdot 1000 \cdot 200 = 8000,00 \text{ mm}^2 \quad (7.20)$$

$$a_{s,max} = 8000 \text{ mm}^2 \geq a_s = 595,00 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.21)$$

$$s_{max} = \min. (2 h_s = 2 \cdot 200 = 400; 250 \text{ mm}) = 250,00 \text{ mm} \quad (7.22)$$

$$s_{max} = 250,00 \text{ mm} \geq s_{skut,os} = 190,00 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.23)$$

$$s_{min} = \max. (k_1 \cdot \emptyset = 1,2 \cdot 12 = 14,4; d_g + k_2 = 16 + 5 = 21; 20 \text{ mm}) = 21,00 \text{ mm} \quad (7.24)$$

$$s_{min} = 21,00 \text{ mm} \leq s_{skut,sv} = 178,00 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.25)$$

Posouzení výztuže ve směru y u dolního povrchu

$$F_s = a_s \cdot f_{yd} = 287 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 124,78 \text{ kN} \quad (7.12)$$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{124,78 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 7,799 \text{ mm} \quad (7.13)$$

$$d = h_s - c_{nom,deska} - \frac{\emptyset}{2} = 200 - 22 - \frac{8}{2} = 174 \text{ mm} \quad (7.26)$$

$$m_{Rd,y}^+ = F_s \cdot \left(d - \frac{\lambda \cdot x}{2} \right) = 124,78 \cdot \left(0,174 - \frac{0,8 \cdot 0,008}{2} \right) = 21,31 \text{ kNm/m} \quad (7.15)$$

$$m_{Rd,x}^+ = 21,31 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed,x}^+ = 17,81 \text{ kNm/m} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.16)$$

Konstrukční zásady

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{7,799}{174} = 0,045 < \xi_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{200000}} = 0,617 \quad (7.17)$$

Podmínka vyhoví

$$a_{s,min} = \max. \left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1000 \cdot 174 = 262,39; \right. \quad (7.18)$$

$$\left. 0,0013 b \cdot d = 0,0013 \cdot 1000 \cdot 174 = 226,20 \right) = 262,39 \text{ mm}^2$$

$$a_{s,min} = 262,39 \text{ mm}^2 \leq a_s = 287,00 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.19)$$

$$a_{s,max} = 0,04 a_c = 0,04 \cdot 1000 \cdot 200 = 8000,00 \text{ mm}^2 \quad (7.20)$$

$$a_{s,max} = 8000 \text{ mm}^2 \geq a_s = 287,00 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.21)$$

$$s_{max} = \min. (2 h_s = 2 \cdot 200 = 400; 250 \text{ mm}) = 250,00 \text{ mm} \quad (7.22)$$

$$s_{max} = 250,00 \text{ mm} \geq s_{skut,os} = 175,00 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.23)$$

$$s_{min} = \max.(k_1 \cdot \emptyset = 1,2 \cdot 8 = 9,6; d_g + k_2 = 16 + 5 = 21; 20 \text{ mm}) = 21,00 \text{ mm} \quad (7.24)$$

$$s_{min} = 21,00 \text{ mm} \leq s_{skut,sv} = 167,00 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.25)$$

Posouzení výztuže ve směru y u horního povrchu

$$F_s = a_s \cdot f_{yd} = 595 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 258,69 \text{ kN} \quad (7.12)$$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{258,69 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 16,168 \text{ mm} \quad (7.13)$$

$$d = h_s - c_{nom,deska} - \frac{\emptyset}{2} = 200 - 22 - \frac{12}{2} = 172 \text{ mm} \quad (7.26)$$

$$m_{Rd,y}^- = F_s \cdot (d - \frac{\lambda \cdot x}{2}) = 258,69 \cdot (0,172 - \frac{0,8 \cdot 0,016}{2}) = 42,84 \text{ kNm/m} \quad (7.15)$$

$$m_{Rd,x}^- = 42,84 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed,x}^- = 28,00 \text{ kNm/m} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.16)$$

Konstrukční zásady

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{16,168}{172} = 0,094 < \xi_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{200000}} = 0,617 \quad (7.17)$$

Podmínka vyhoví

$$a_{s,min} = \max.(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1000 \cdot 172 = 259,38; \quad (7.18)$$

$$0,0013 b \cdot d = 0,0013 \cdot 1000 \cdot 172 = 223,60) = 259,38 \text{ mm}^2$$

$$a_{s,min} = 259,38 \text{ mm}^2 \leq a_s = 595,00 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.19)$$

$$a_{s,max} = 0,04 a_c = 0,04 \cdot 1000 \cdot 200 = 8000,00 \text{ mm}^2 \quad (7.20)$$

$$a_{s,max} = 8000 \text{ mm}^2 \geq a_s = 595,00 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.21)$$

$$s_{max} = \min.(2 h_s = 2 \cdot 200 = 400; 250 \text{ mm}) = 250,00 \text{ mm} \quad (7.22)$$

$$s_{max} = 250,00 \text{ mm} \geq s_{skut,os} = 190,00 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.23)$$

$$s_{min} = \max.(k_1 \cdot \emptyset = 1,2 \cdot 12 = 14,4; d_g + k_2 = 16 + 5 = 21; 20 \text{ mm}) = 21,00 \text{ mm} \quad (7.24)$$

$$s_{min} = 21,00 \text{ mm} \leq s_{skut,sv} = 178,00 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.25)$$

Ověření podmínky pro možnost upustit od výpočtu průhybu

Výpočet proveden pro největší pole – mezi průvlaky E, F, 1, 2

$$l = 5,995 \text{ m}$$

Poznámka: l je délka kratšího z půdorysných rozměrů – směr y, u desek nosných ve dvou směrech se má posouzení provést pro kratší rozpětí.

$$K = 1,5$$

$$\rho_w = \frac{a_s}{b_s \cdot d} = \frac{287 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,174} = 1,650 \cdot 10^{-3} \quad (7.27)$$

$$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \cdot \sqrt{30} = 5,477 \cdot 10^{-3} \geq \rho_w = 1,650 \cdot 10^{-3} \quad (7.28)$$

Podmínka vyhoví, použije se následující vzorec 7.29

$$\frac{l}{d} \leq K \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho_w} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho_w} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (7.29)$$

$$\frac{5,995}{0,174} = 34,45 \leq 1,5 \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{30} \frac{5,477 \cdot 10^{-3}}{1,650 \cdot 10^{-3}} + 3,2 \cdot \sqrt{30} \cdot \left(\frac{5,477 \cdot 10^{-3}}{1,650 \cdot 10^{-3}} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] =$$

$$= 150,27$$

Podmínka vyhoví,
je upuštěno od posouzení
průhybu

Ověření podmínky pro možnost upustit od výpočtu omezení trhlin

Pro desky namáhané ohybem bez významného tahu s tloušťkou ≤ 200 mm nejsou nutná opatření pro omezení šířky trhlin za předpokladu splnění konstrukčních zásad – podmínky jsou splněny, výpočet není potřeba.

Ověření podmínky pro možnost upustit od výpočtu omezení napětí

Omezení napětí není nutno ověřovat při splnění mezního stavu únosnosti a konstrukčních zásad – podmínky jsou splněny, výpočet není potřeba.

7.1.2 Návrh a posudek stropní desky nad 1. NP

Návrh

$$h_s = 200 \text{ mm}$$

Navržená výztuž

Směr x, dolní povrch: Ø 10/155 mm, $a_s = 507 \text{ mm}^2$

Směr x, horní povrch: Ø 10/155 mm, $a_s = 507 \text{ mm}^2$

Směr y, dolní povrch: Ø 10/155 mm, $a_s = 507 \text{ mm}^2$

Směr y, horní povrch: Ø 10/155 mm, $a_s = 507 \text{ mm}^2$

Krytí výztuže

Pro krytí výztuže platí totožné podmínky jako pro krytí výztuže desky nad 2. NP – viz kapitola 7.1.1, deska tedy pro návrh krytí spadá do konstrukční třídy S2.

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm (platí pro monolitické konstrukce)}$$

$$c_{min,b} = 10 \text{ mm} \geq \emptyset = 10 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.4)$$

$$c_{min,dur} = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max. (c_{min,b} = 10; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} = 10 + 0 + 0 + 0 = 10; \quad (7.5) \\ 10 \text{ mm}) = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom,deska} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 10 + 10 \text{ mm} = 20 \text{ mm} \quad (7.6)$$

Kotevní délka

Návrh platí pro všechny nosné výztuže v desce.

$$f_{bd} = 2,25 \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 2,99 \text{ MPa} \quad (7.7)$$

$$l_{bd,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{2,99} = 363,53 \text{ mm} \quad (7.8)$$

$$\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4; \alpha_5 = 1$$

$$l_{bd} = \alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4; \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 363,53 = 363,53 \text{ mm} \quad (7.9)$$

$$\text{návrh } l_{bd} = 370 \text{ mm}$$

$$l_{bd,min} = \max. (0,3 \cdot l_{bd,rqd} = 0,3 \cdot 363,53 = 109,06; 10 \cdot \emptyset = 10 \cdot 10 = 100; \quad (7.10) \\ 20 \text{ mm}) = 109,06 \text{ mm}$$

$$l_{bd,min} = 109,06 \text{ mm} \leq l_{bd} = 370 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.11)$$

Posudek

Posouzení výztuže ve směru x u dolního i horního povrchu

$$F_s = a_s \cdot f_{yd} = 507 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 220,43 \text{ kN} \quad (7.12)$$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{220,43 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 13,777 \text{ mm} \quad (7.13)$$

$$d = h_s - c_{nom,deska} - \frac{\emptyset}{2} = 200 - 20 - \frac{10}{2} = 175 \text{ mm} \quad (7.26)$$

$$m_{Rd,x}^+ = m_{Rd,x}^- = F_s \cdot \left(d - \frac{\lambda \cdot x}{2}\right) = 220,43 \cdot \left(0,175 - \frac{0,8 \cdot 0,014}{2}\right) = 37,34 \text{ kNm/m} \quad (7.15)$$

$$m_{Rd,x}^+ = 37,34 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed,x}^+ = 35,00 \text{ kNm/m (dolní p.) Podmínka vyhoví} \quad (7.16)$$

$$m_{Rd,x}^- = 37,34 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed,x}^- = 30,00 \text{ kNm/m (horní p.) Podmínka vyhoví} \quad (7.16)$$

Konstrukční zásady

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{13,777}{175} = 0,079 < \xi_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{200000}} = 0,617 \quad (7.17)$$

Podmínka vyhoví

$$a_{s,min} = \max. \left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1000 \cdot 175 = 263,90; \right. \quad (7.18)$$

$$0,0013 b \cdot d = 0,0013 \cdot 1000 \cdot 175 = 227,50) = 263,90 \text{ mm}^2$$

$$a_{s,min} = 263,90 \text{ mm}^2 \leq a_s = 507,00 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.19)$$

$$a_{s,max} = 0,04 a_c = 0,04 \cdot 1000 \cdot 200 = 8000,00 \text{ mm}^2 \quad (7.20)$$

$$a_{s,max} = 8000 \text{ mm}^2 \geq a_s = 507,00 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.21)$$

$$s_{max} = \min. (2 h_s = 2 \cdot 200 = 400; 250 \text{ mm}) = 250,00 \text{ mm} \quad (7.22)$$

$$s_{max} = 250,00 \text{ mm} \geq s_{skut,os} = 155,00 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.23)$$

$$s_{min} = \max.(k_1 \cdot \emptyset = 1,2 \cdot 10 = 12; d_g + k_2 = 16 + 5 = 21; 20 \text{ mm}) = 21,00 \text{ mm} \quad (7.24)$$

$$s_{min} = 21,00 \text{ mm} \leq s_{skut,sv} = 145,00 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.25)$$

Posouzení výztuže ve směru y u dolního i horního povrchu

$$F_s = a_s \cdot f_{yd} = 507 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 220,43 \text{ kN} \quad (7.12)$$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{220,43 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 13,777 \text{ mm} \quad (7.13)$$

$$d = h_s - c_{nom,deska} - \emptyset_x - \frac{\emptyset}{2} = 200 - 20 - 10 - \frac{10}{2} = 165 \text{ mm} \quad (7.14)$$

$$m_{Rd,y}^+ = m_{Rd,y}^- = F_s \cdot (d - \frac{\lambda \cdot x}{2}) = 220,43 \cdot (0,165 - \frac{0,8 \cdot 0,014}{2}) = 35,14 \text{ kNm/m} \quad (7.15)$$

$$m_{Rd,y}^+ = 35,14 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed,y}^+ = 30,00 \text{ kNm/m (dolní p.)} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.16)$$

$$m_{Rd,y}^- = 35,14 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed,y}^- = 24,00 \text{ kNm/m (horní p.)} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.16)$$

Konstrukční zásady

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{13,777}{165} = 0,083 < \xi_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{200000}} = 0,617 \quad (7.17)$$

Podmínka vyhoví

$$a_{s,min} = \max.(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1000 \cdot 165 = 248,80; \quad (7.18)$$

$$0,0013 b \cdot d = 0,0013 \cdot 1000 \cdot 165 = 214,50) = 248,80 \text{ mm}^2$$

$$a_{s,min} = 248,80 \text{ mm}^2 \leq a_s = 507,00 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.19)$$

$$a_{s,max} = 0,04 a_c = 0,04 \cdot 1000 \cdot 200 = 8000,00 \text{ mm}^2 \quad (7.20)$$

$$a_{s,max} = 8000 \text{ mm}^2 \geq a_s = 507,00 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.21)$$

$$s_{max} = \min.(2 h_s = 2 \cdot 200 = 400; 250 \text{ mm}) = 250,00 \text{ mm} \quad (7.22)$$

$$s_{max} = 250,00 \text{ mm} \geq s_{skut,os} = 155,00 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.23)$$

$$s_{min} = \max.(k_1 \cdot \emptyset = 1,2 \cdot 10 = 12; d_g + k_2 = 16 + 5 = 21; 20 \text{ mm}) = 21,00 \text{ mm} \quad (7.24)$$

$$s_{min} = 21,00 \text{ mm} \leq s_{skut,sv} = 145,00 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.25)$$

Ověření podmínky pro možnost upustit od výpočtu průhybu

Výpočet proveden pro největší pole – mezi průvlaky E, F, 1, 2

$l = 5,995 \text{ m}$ (kratší půdorysný rozměr – směr y)

Poznámka: l je kratší půdorysný rozměr – směr y, u desek nosných ve dvou směrech se má posouzení provést pro kratší rozpětí.

$$K = 1,5$$

$$\rho_w = \frac{a_s}{b_s \cdot d} = \frac{507 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,165} = 3,073 \cdot 10^{-3} \quad (7.27)$$

$$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \cdot \sqrt{30} = 5,477 \cdot 10^{-3} \geq \rho_w = 3,073 \cdot 10^{-3} \quad (7.28)$$

Podmínka vyhoví, použije se následující vzorec 7.29

$$\frac{l}{d} \leq K \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho_w} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho_w} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (7.29)$$

$$\frac{5,995}{0,165} = 36,33 \leq 1,5 \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{30} \frac{5,477 \cdot 10^{-3}}{3,073 \cdot 10^{-3}} + 3,2 \cdot \sqrt{30} \cdot \left(\frac{5,477 \cdot 10^{-3}}{3,073 \cdot 10^{-3}} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] =$$

$$= 56,66$$

Podmínka vyhoví,
je upuštěno od posouzení
průhybu

Ověření podmínky pro možnost upustit od výpočtu omezení trhlin

Pro desky namáhané ohybem bez významného tahu s tloušťkou ≤ 200 mm nejsou nutná opatření pro omezení šířky trhlin za předpokladu splnění konstrukčních zásad – podmínky jsou splněny, výpočet není potřeba

Ověření podmínky pro možnost upustit od výpočtu omezení napětí

Omezení napětí není nutno ověřovat při splnění mezního stavu únosnosti a konstrukčních zásad – podmínky jsou splněny, výpočet není potřeba.

7.2 Návrh a posudek průvlaku

Maximální ohybový moment vznikne na průvlaku E nad 2. NP, maximální posouvající síla na průvlaku 1 nad 1. NP. I když tyto síly nikdy nevzniknou na jednom průvlaku současně, následující výpočet je proveden pro tento stav. Důvodem je jednodušší provádění, tato výztuž je navržena pro všechny průvlaky v konstrukci.

Návrh

$h_w = 600$ mm (včetně stropní desky tloušťky 200 mm)

$b_w = 250$ mm

Navržená výztuž

Dolní povrch: 2 Ø 12, $A_s = 226$ mm²

Horní povrch: 4 Ø 12, $A_s = 452$ mm²

Trmínky: dvojstržné Ø 10/180 mm, $A_{sw} = 157,08$ mm²

Krytí výztuže

Všechny průvlaky se nachází ve stupni vlivu prostředí XC1 a jsou navrženy pro konstrukční třídu S4, která je pro návrh krytí výztuže snížena na S3 (díky třídě betonu $\geq C 30/37$).

Pro třmínky

$$\emptyset = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm (platí pro monolitické konstrukce)}$$

$$c_{min,b} = 10 \text{ mm} \geq \emptyset = 10 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.4)$$

$$c_{min,dur} = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max. (c_{min,b} = 10; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} = 10 + 0 + 0 + 0 = 10; \quad (7.5)$$

$$10 \text{ mm}) = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom,sw} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 10 + 10 \text{ mm} = 20 \text{ mm} \quad (7.6)$$

Pro hlavní výztuž

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm (platí pro monolitické konstrukce)}$$

$$c_{min,b} = 12 \text{ mm} \geq \emptyset = 12 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.4)$$

$$c_{min,dur} = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max. (c_{min,b} = 12; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} = 10 + 0 + 0 + 0 = 10; \quad (7.5) \\ 10 \text{ mm}) = 12 \text{ mm}$$

$$c_{nom,pr} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 12 + 10 \text{ mm} = 22 \text{ mm} \quad (7.6)$$

Kotevní délka (návrh platí pro všechny nosné výztuže v desce)

$$f_{bd} = 2,25 \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 2,99 \text{ MPa} \quad (7.7)$$

$$l_{bd,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{12}{4} \cdot \frac{434,78}{2,99} = 436,23 \text{ mm} \quad (7.8)$$

$$\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4; \alpha_5 = 1$$

$$l_{bd} = \alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4; \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 436,23 = 436,23 \text{ mm} \quad (7.9)$$

$$\text{návrh } l_{bd} = 440 \text{ mm}$$

$$l_{bd,min} = \max. (0,3 \cdot l_{bd,rqd} = 0,3 \cdot 436,26 = 130,87; 10 \cdot \emptyset = 10 \cdot 12 = 120; \quad (7.10) \\ 20 \text{ mm}) = 130,87 \text{ mm}$$

$$l_{bd,min} = 130,87 \text{ mm} \leq l_{bd} = 440 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.11)$$

Posudek

$b_{eff} = b_w = 250 \text{ mm}$ Spolupůsobící šířka desky je na bezpečnou stranu uvažována stejná, jako šířka průvlastku (průvlastek E nad 2. NP v místě světlíku není propojen s deskou)

Posouzení výztuže na ohyb u dolního povrchu

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 226 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 98,26 \text{ kN} \quad (7.30)$$

$$x = \frac{F_s}{\eta \cdot \lambda \cdot b_{eff} \cdot f_{cd}} = \frac{98,26 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,8 \cdot 0,25 \cdot 20 \cdot 10^3} = 24,565 \text{ mm} \quad (7.13)$$

$$d = h - c_{nom,sw} - \emptyset_{sw} - \frac{12}{2} = 600 - 20 - 10 - \frac{12}{2} = 564 \text{ mm} \quad (7.31)$$

$$M_{Rd}^+ = F_s \cdot (d - \frac{\lambda \cdot x}{2}) = 98,26 \cdot (0,564 - \frac{0,8 \cdot 0,025}{2}) = 54,44 \text{ kNm} \quad (7.32)$$

$$M_{Rd,x}^+ = 54,44 \text{ kNm} \geq M_{Ed,x}^+ = 42,10 \text{ kNm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.33)$$

Konstrukční zásady

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{24,565}{564} = 0,044 < \xi_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{200000}} = 0,617 \quad (7.17)$$

Podmínka vyhoví

$$A_{s,min} = \max. (0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_w \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 250 \cdot 564 = 212,63; \quad (7.34)$$

$$0,0013 b_w \cdot d = 0,0013 \cdot 250 \cdot 564 = 183,30) = 212,63 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 212,63 \text{ mm}^2 \leq A_s = 226,00 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.35)$$

$$A_{s,max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 600 \cdot 250 = 6000 \text{ mm}^2 \quad (7.36)$$

$$A_{s,max} = 6000 \text{ mm}^2 \geq A_s = 226 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.37)$$

$$s_{max} = \min. (2 h_w = 2 \cdot 600 = 1200; 250 \text{ mm}) = 250,00 \text{ mm} \quad (7.22)$$

$$s_{max} = 250,00 \text{ mm} \geq s_{skut,os} = 178,00 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.23)$$

$$s_{min} = \max.(k_1 \cdot \emptyset = 1,2 \cdot 12 = 14,4; d_g + k_2 = 16 + 5 = 21; 20 \text{ mm}) = 21,00 \text{ mm} \quad (7.24)$$

$$s_{min} = 21,00 \text{ mm} \leq s_{skut,sv} = 166,00 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.25)$$

Posouzení výztuže na ohyb u horního povrchu

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 452 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 196,52 \text{ kN} \quad (7.30)$$

$$x = \frac{F_s}{\eta \cdot \lambda \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{196,52 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,8 \cdot 0,25 \cdot 20 \cdot 10^3} = 49,130 \text{ mm} \quad (7.13)$$

$$d = h - c_{nom.deska} - \emptyset_{deska} - \emptyset_{sw} - \frac{\emptyset}{2} = 600 - 22 - 12 - 10 - \frac{12}{2} = 550 \text{ mm} \quad (7.38)$$

Konzervativně – toto je nejmenší účinná výška průvlaku (na všech ostatních průvlacích bude stejná nebo větší).

$$M_{Rd}^- = F_s \cdot (d - \frac{\lambda \cdot x}{2}) = 196,52 \cdot (0,550 - \frac{0,8 \cdot 0,049}{2}) = 104,23 \text{ kNm} \quad (7.32)$$

$$M_{Rd,x}^- = 104,26 \text{ kNm} \geq M_{Ed,x}^- = 82,85 \text{ kNm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.33)$$

Konstrukční zásady

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{49,130}{550} = 0,089 < \xi_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{200000}} = 0,617 \quad (7.17)$$

Podmínka vyhoví

$$A_{s,min} = \max.(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_w \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 250 \cdot 550 = 207,35; \quad (7.34)$$

$$0,0013 b_w \cdot d = 0,0013 \cdot 250 \cdot 550 = 178,75) = 207,35 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 207,35 \text{ mm}^2 \leq A_s = 452,00 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.35)$$

$$A_{s,max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 600 \cdot 250 = 6000 \text{ mm}^2 \quad (7.36)$$

$$A_{s,max} = 6000 \text{ mm}^2 \geq A_s = 452 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.37)$$

$$s_{max} = \min.(2 h_w = 2 \cdot 600 = 1200; 250 \text{ mm}) = 250,00 \text{ mm} \quad (7.22)$$

$$s_{max} = 250,00 \text{ mm} \geq s_{skut,os} = 59,33 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.23)$$

$$s_{min} = \max.(k_1 \cdot \emptyset = 1,2 \cdot 12 = 14,4; d_g + k_2 = 16 + 5 = 21; 20 \text{ mm}) = 21,00 \text{ mm} \quad (7.24)$$

$$s_{min} = 21,00 \text{ mm} \leq s_{skut,sv} = 47,33 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.25)$$

Posouzení výztuže na smyk

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \quad (7.38)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{550}} = 1,603 \leq 2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.39)$$

$$\rho_w = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{452 \cdot 10^{-6}}{0,25 \cdot 0,550} = 3,287 \cdot 10^{-3} \quad (7.40)$$

$$V_{Rd,c,min} = [(0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}) + k \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d = \quad (7.41)$$

$$= [(0,035 \cdot (1,603)^{3/2} \cdot 30^{1/2}) + 1,603 \cdot 0] \cdot 0,25 \cdot 0,550 = 0,05350 \text{ MN} = 53,50 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_w \cdot f_{ck})^{1/3} + k \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d = \quad (7.42)$$

$$[0,12 \cdot 1,603 \cdot (100 \cdot 3,287 \cdot 10^{-3} \cdot 30)^{1/3} + 1,603 \cdot 0] \cdot 0,25 \cdot 0,550 = 0,05672 \text{ MN}$$

$$= 56,72 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 56,72 \text{ kN} \geq V_{Rd,c,min} = 53,50 \text{ kN} \quad \text{Podmínka vyhoví,} \quad (7.43)$$

rozhoduje $V_{Rd,c}$

$$V_{Rd,c} = 56,72 \text{ kN} \geq V_{ED} = 201,16 \text{ kN}$$

Podmínka nevyhoví, (7.44)
je nutný návrh a posudek
smykové výztuže

Návrh a posudek smykové výztuže – třmínků

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 550 = 495 \text{ mm} \quad (7.45)$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$\alpha_{cw} = 1,0$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,s} &= \frac{A_{sw}}{s_t} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cotg \theta + \cotg \alpha) \cdot \sin \alpha = \\ &= \frac{157,08 \cdot 10^{-6}}{0,160} \cdot 0,495 \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot (\cotg 45^\circ + \cotg 90^\circ) \cdot \sin 90^\circ = 211,29 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.46)$$

$$\nu = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528 \quad (7.47)$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,max} &= \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot \frac{\cotg \theta + \cotg \alpha}{1 + \cotg^2 \theta} = 1 \cdot 0,25 \cdot 0,495 \cdot 0,528 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot \\ &\cdot \frac{\cotg 45^\circ + \cotg 90^\circ}{1 + (\cotg 45^\circ)^2} = 653,40 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.48)$$

$$V_{Rd,s} = 211,29 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 653,40 \text{ kN} \quad \text{Podmínka vyhoví, (7.49)}$$

rozhoduje $V_{rd,s}$

$$V_{Rd,s} = 211,29 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 201,16 \text{ kN} \quad \text{Podmínka vyhoví, (7.50)}$$

smyková výztuž je
dostatečná

Konstrukční posouzení smykové výztuže – třmínků

$$s_{max} = \min. [0,75 \cdot d (1 + \cotg \alpha) = 0,75 \cdot 550 (1 + \cotg 90^\circ) = 412,50 \text{ mm}; \quad (7.51)$$

$$400 \text{ mm}] = 400 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 400 \text{ mm} \geq s_{skut,os} = 160 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví}$$

$$\rho_w = \frac{A_s}{\sin \alpha \cdot b_w \cdot s_{skut,os}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,010^2 \cdot \frac{1}{4}}{\sin 90^\circ \cdot 0,25 \cdot 0,160} = 3,927 \cdot 10^{-3} \quad (7.52)$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 8,764 \cdot 10^{-4} \quad (7.53)$$

$$\rho_{w,min} = 8,764 \cdot 10^{-4} \leq \rho_w = 3,927 \cdot 10^{-3} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.54)$$

$$s_{t,max} = \min. (0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 550 = 412,50; 600 \text{ mm}) = 412,50 \text{ mm} \quad (7.55)$$

$$s_{t,max} = 412,50 \text{ mm} \geq s_t = 200 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.56)$$

Ověření podmínky pro možnost upustit od výpočtu průhybu

(výpočet proveden pro průvlak 2 nad 1. NP – největší vzdálenost podpor pod průvlakem, která u průvlaku v objektu vůbec existuje)

$$l = 6 \text{ m}$$

$$K = 1,3$$

$$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \cdot \sqrt{30} = 5,477 \cdot 10^{-3} \geq \rho_w = \frac{226}{250 \cdot 564} = 1,603 \cdot 10^{-3} \quad (7.28)$$

Podmínka vyhoví, použije se následující vzorec 7.29

$$\frac{l}{d} \leq K \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho_w} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho_w} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (7.29)$$

$$\frac{6}{0,564} = 10,64 \leq 1,3 \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{30} \frac{5,477 \cdot 10^{-3}}{1,603 \cdot 10^{-3}} + 3,2 \cdot \sqrt{30} \cdot \left(\frac{5,477 \cdot 10^{-3}}{1,603 \cdot 10^{-3}} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] =$$

$$= 136,40$$

Podmínka vyhoví,
je upuštěno od posouzení
průhybu

Ověření podmínky pro možnost upustit od výpočtu omezení trhlin

Pro stupeň vlivu prostředí XC1 nemá šířka trhliny vliv na trvanlivost. Doporučená maximální hodnota šířky trhliny $w_{\max} = 0,4$ mm zajišťuje přijatelný vzhled betonu. Trhliny nenaruší funkčnost.

Ověření podmínky pro možnost upustit od výpočtu omezení napětí

Omezení napětí není nutno ověřovat při splnění mezního stavu únosnosti a konstrukčních zásad – podmínky jsou splněny, výpočet není potřeba.

Poznámka: výkres výztuže je proveden pouze pro průvlak 1 nad 1. NP, ostatní průvlaky budou obdobné se stejnými výztužnými prvky a konstrukčními zásadami.

7.3 Návrh a posudek sloupů

Maximální ohybový moment ve směru x vznikne na sloupu pod průnikem průvlaků 1 a A ve 2. NP, maximální ohybový moment ve směru y vznikne na sloupu pod průnikem průvlaků 5 a A ve 2. NP. Maximální normálová síla na sloupu pod průnikem průvlaků 4 a B v 1. NP. Následující výpočty jsou provedeny pro sloupy s největším ohybovým momentem, tj. sloup pod průnikem průvlaků 5 a A ve 2. NP a maximální normálovou silou,

tj. sloup pod průnikem průvlaků 4 a B v 1. NP. V těchto konkrétních případech jsou příslušné vnitřní síly vždy zároveň i silami maximálními vycházející ze stejné kombinace zatížení.

7.3.1 Sloup pod průnikem průvlaků 5 a A ve 2. NP

Návrh

$$h_{sl} = 250 \text{ mm}$$

$$b_{sl} = 250 \text{ mm}$$

Navržená výztuž

Nosná výztuž: 4 Ø 16, $A_{s1} = A_{s2} = 402 \text{ mm}^2$

Třmínky: Ø 6/ 200 mm

Krytí výztuže

Sloup se nachází ve stupni vlivu prostředí XC1 s konstrukční třídou S4, která je pro krytí výztuže snížena na S3 (díky třídě betonu $\geq \text{C } 30/37$).

Pro třmínky

$$\emptyset = 6 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm (platí pro monolitické konstrukce)}$$

$$c_{min,b} = 6 \text{ mm} \geq \emptyset = 6 \text{ mm}$$

Podmínka vyhoví (7.4)

$$c_{min,dur} = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max. (c_{min,b} = 6; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} = 10 + 0 + 0 + 0 = 10; \quad (7.5)$$

$$10 \text{ mm}) = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom,sw} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 10 + 10 \text{ mm} = 20 \text{ mm} \quad (7.6)$$

Pro hlavní výztuž

$$\emptyset = 16 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm (platí pro monolitické konstrukce)}$$

$$c_{min,b} = 16 \text{ mm} \geq \emptyset = 16 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.4)$$

$$c_{min,dur} = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max. (c_{min,b} = 16; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} = 10 + 0 + 0 + 0 = 10; \quad (7.5)$$

$$10 \text{ mm}) = 16 \text{ mm}$$

$$c_{nom,sl} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 16 + 10 \text{ mm} = 26 \text{ mm} \quad (7.6)$$

Kotevní délka (návrh platí pro všechny nosné výztuže ve sloupu)

$$f_{bd} = 2,25 \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 2,99 \text{ MPa} \quad (7.7)$$

$$l_{bd,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{16}{4} \cdot \frac{434,78}{2,99} = 581,65 \text{ mm} \quad (7.8)$$

$$\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4; \alpha_5 = 1$$

$$l_{bd} = \alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4; \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1.1.1.1.1.581,65 = 581,65 \text{ mm} \quad (7.9)$$

návrh $l_{bd} = 600 \text{ mm}$

$$l_{bd,min} = \max. (0,3 \cdot l_{bd,rqd} = 0,3 \cdot 581,65 = 174,49; 10 \cdot \emptyset = 10 \cdot 16 = 160; 20 \text{ mm}) = 174,49 \text{ mm} \quad (7.10)$$

$$l_{bd,min} = 174,49 \text{ mm} \leq l_{bd} = 600 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.11)$$

Posudek

$$F_{s1} = F_{s2} = A_{s1(2)} \cdot f_{yd} = 402 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 174,78 \text{ kN} \quad (7.30)$$

$$d = h - c_{nom,sw} - \emptyset_{sw} - \frac{\emptyset}{2} = 250 - 20 - 6 - \frac{16}{2} = 216 \text{ mm} \quad (7.57)$$

$$d_2 = c_{nom,sw} + \emptyset_{sw} + \frac{\emptyset}{2} = 20 + 6 + \frac{16}{2} = 34 \text{ mm} \quad (7.58)$$

$$z_1 = z_2 = \frac{h}{2} - c_{nom,sw} - \emptyset_{sw} - \frac{\emptyset}{2} = \frac{250}{2} - 20 - 6 - \frac{16}{2} = 91 \text{ mm} \quad (7.59)$$

Ověření štíhlosti

Je potřeba ověřit, zda se jedná o štíhlý nebo masivní sloup. U masivního sloupu je možné zanedbat účinky 2. řádu pro výpočet vnitřních sil. Je potřeba započítat pouze excentricitu od imperfekcí. Návrhové momenty se zvětší o moment způsobený normálovou silou působící na excentricitě. U štíhlého sloupu je nutné navíc započítat excentricitu vyvolanou vlivem štíhlosti.

Limitní štíhlost

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{402 \cdot 2 \cdot 434,78}{250 \cdot 250 \cdot 20} = 0,280 \quad (7.60)$$

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} = \frac{-23,09}{35,15} = -0,657 \quad (7.61)$$

$A = 0,7$ – konzervativně

$$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,280} = 1,249 \quad (7.62)$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-0,657) = 2,357 \quad (7.63)$$

$$n = \frac{N_{ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{88,84 \cdot 10^3}{250 \cdot 250 \cdot 20} = 0,071 \quad (7.64)$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,249 \cdot 2,357}{\sqrt{0,071}} = 154,68 \quad (7.65)$$

Skutečná štíhlost

$$l = 2,200 \text{ m}$$

$$l_0 = \frac{l}{2} = \frac{2,200}{2} = 1,100 \text{ m} \quad (7.66)$$

$$i = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot b_{sl} \cdot h_{sl}^3}{b_{sl} \cdot h_{sl}}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot 0,250 \cdot 0,250^3}{0,250 \cdot 0,250}} = 0,072 \text{ m} \quad (7.67)$$

$$\lambda_{sl} = \frac{l_0}{i} = \frac{1,100}{0,072} = 15,28 \leq \lambda_{lim} = 154,68 \quad (7.68)$$

Podmínka vyhoví, sloup
je masivní, účinky 2. řádu
jsou zanedbány

$$e_i = \frac{l_0}{400} = \frac{1,100}{400} = 0,0028 \text{ m} \quad (7.69)$$

Zvětšené návrhové vnitřní síly

$$M_{Ed,y,max} = 35,15 + 88,84 \cdot e_i = 35,15 + 88,84 \cdot 0,0028 = 35,99 \text{ kNm} \quad (7.70)$$

$$N_{Ed,přísl} = -88,84 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,max} = -88,84 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y,přísl} = 35,99 \text{ kNm}$$

Interakční diagram

Bod 0

$$\sigma_s = \varepsilon_{c2} \cdot E_s = 2 \cdot 200 = 400 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.71)$$

$$\begin{aligned} N_{Rd0} &= -(b_{sl} \cdot h_{sl} \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s1} \cdot \sigma_s + A_{s2} \cdot \sigma_s) = \\ &= -(0,250 \cdot 0,250 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + 402 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3 + 402 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3) = \\ &= -1571,60 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.72)$$

$$\begin{aligned} M_{Rd0} &= A_{s1} \cdot \sigma_s \cdot z_1 - A_{s2} \cdot \sigma_s \cdot z_2 = \\ &= 402 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 0,091 - 402 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 0,091 = 0,00 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (7.73)$$

Bod 1

$$N_{Rd1} = -(\lambda \cdot b_{sl} \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd}) = \quad (7.74)$$

$$- (0,8 \cdot 0,250 \cdot 0,216 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + 402 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3) = -1038,78 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = \lambda \cdot b_{sl} \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h_{sl} - \lambda \cdot d) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2 = \quad (7.75)$$

$$0,8 \cdot 0,250 \cdot 0,216 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot (0,250 - 0,8 \cdot 0,216) + 402 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot$$

$$0,091 = 49,26 \text{ kNm}$$

Bod 2

$$N_{Rd2} = -(\lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b_{sl} \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd} - A_{s1} \cdot f_{yd}) = \quad (7.76)$$

$$- (0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,250 \cdot 0,216 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 +$$

$$+ 402 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 - 402 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3) = -533,09 \text{ kN}$$

$$M_{Rd2} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b_{sl} \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h_{sl} - \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot \quad (7.77)$$

$$\cdot z_1 = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,250 \cdot 0,216 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot (0,250 - 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,216) +$$

$$402 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,091 + 402 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,091 = 70,03 \text{ kNm}$$

Bod 3

$$N_{Rd3} = 0,00 \text{ kN}$$

$$x = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b_{sl} \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{402 \cdot 434,78 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 250 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 43,70 \text{ mm} \quad (7.78)$$

$$M_{Rd3} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,5 \cdot 0,8 \cdot x) = \quad (7.79)$$

$$402 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot (0,216 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,044) = 34,68 \text{ kNm}$$

Bod 4

$$N_{Rd4} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 402 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 174,78 \text{ kN} \quad (7.80)$$

$$M_{Rd4} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 = 402 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,091 = 15,91 \text{ kNm} \quad (7.81)$$

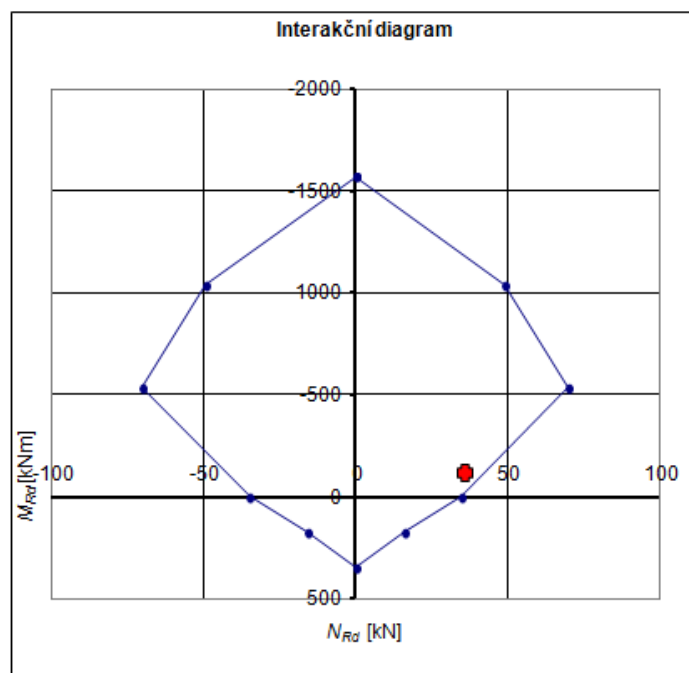
Bod 5

$$N_{Rd5} = A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s2} \cdot f_{yd} = 402 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 + 402 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 349,56 \text{ kN} \quad (7.82)$$

$$M_{Rd5} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 - A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2 = 402 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,091 - 402 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,091 = 0,00 \text{ kNm} \quad (7.83)$$

Bod 1'–4'

Díky symetrickému průřezu i symetrickému uspořádání výztuže v obou směrech jsou hodnoty normálových sil na mezi únosnosti bodů 1'–4' totožné s hodnotami 1–4 a hodnoty ohybových momentů na mezi únosnosti taktéž, pouze s opačnou znaménkovou konvencí.



Obrázek 7.1 – Výsledný interakční diagram

Návrhové vnitřní síly leží uvnitř interakčního diagramu, navržený průřez vyhoví.

Konstrukční zásady

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{43,70}{216} = 0,202 < \xi_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{200000}} = 0,617 \quad (7.17)$$

Podmínka vyhoví

$$\xi = \frac{x}{d_2} = \frac{43,70}{34} = 1,285 > \xi_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{200000}} = 0,617 \quad (7.84)$$

Podmínka vyhoví

$$A_{s,min} = \max. \left(0,1 \cdot \frac{N_{ed}}{f_{yd}} = 0,1 \cdot \frac{88,84 \cdot 10^3}{434,78} = 20,43; \right. \quad (7.85)$$

$$0,002 A_c = 0,002 \cdot 250 \cdot 250 = 125,00 = 125,00 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 125,00 \text{ mm}^2 \leq A_s = 804 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.35)$$

$$A_{s,max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 250 \cdot 250 = 2500 \text{ mm}^2 \quad (7.36)$$

$$A_{s,max} = 2500 \text{ mm}^2 \geq A_s = 804 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.37)$$

$$s_{max} = 400 \text{ mm} \geq s_{kut,os} = 182 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.86)$$

$$s_{min} = \max. (k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max. (1,2 \cdot 16 = 19,2; 16 + 5 = 21; 20) = 21 \text{ mm} \quad (7.24)$$

$$s_{min} = 21 \text{ mm} \leq s_{kut,sv} = 166 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.25)$$

$$\emptyset_{sw,min} = \max. (6 \text{ mm}; 0,25 \cdot \emptyset = 0,25 \cdot 16 = 4,16) = 6 \text{ mm} \quad (7.87)$$

$$\emptyset_{sw,min} = 6 \text{ mm} \geq \emptyset_{sw} = 6 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.88)$$

$$s_{sw,max} = \min. (15 \cdot \emptyset = 15 \cdot 16 = 240; h_{sl} = 250, b_{sl} = 250; 300 \text{ mm}) = 240 \text{ mm} \quad (7.89)$$

$$s_{sw} = 200 \text{ mm} \leq s_{sw,max} = 240 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.90)$$

$$\text{V horní a dolní části sloupu v délce max. } (h_{sl} = 250 \text{ mm}, b_{sl} = 250 \text{ mm}) = 250 \text{ mm} \quad (7.91)$$

$$\text{se zmenší vzdálenost třmínků na } \leq 0,6 s_{sw} = 0,6 \cdot 200 = 120 \text{ mm, návrh } 100 \text{ mm} \quad (7.92)$$

Ověření podmínky pro možnost upustit od výpočtu omezení trhlin

Pro stupeň vlivu prostředí XC1 nemá šířka trhliny vliv na trvanlivost. Doporučená maximální hodnota šířky trhliny $w_{max} = 0,4 \text{ mm}$ zajišťuje přijatelný vzhled betonu. Trhliny nenaruší funkčnost.

Ověření podmínky pro možnost upustit od výpočtu omezení napětí

Omezení napětí není nutno ověřovat při splnění mezního stavu únosnosti a konstrukčních zásad – podmínky jsou splněny, výpočet není potřeba.

7.3.2 Sloup pod průnikem průvlaků 4 a B v 1. NP

Návrh

$$h_{sl} = 250 \text{ mm}$$

$$b_{sl} = 250 \text{ mm}$$

Navržená výztuž

Nosná výztuž: 4 Ø 14, $A_{s1} = A_{s2} = 308 \text{ mm}^2$

Třmínky: Ø 6/200 mm

Krytí výztuže

Sloup se nachází ve stupni vlivu prostředí XC3 s konstrukční třídou S4, která je pro krytí výztuže snížena na S3 (díky třídě betonu $\geq \text{C } 30/37$).

Pro třmínky

$$\emptyset = 6 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm (platí pro monolitické konstrukce)}$$

$$c_{min,b} = 6 \text{ mm} \geq \emptyset = 6 \text{ mm}$$

Podmínka vyhoví (7.4)

$$c_{min,dur} = 20 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max. (c_{min,b} = 6; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} = 20 + 0 + 0 + 0 = 20; 10 \text{ mm}) = 20 \text{ mm} \quad (7.5)$$

$$c_{nom,sw} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 20 + 10 \text{ mm} = 30 \text{ mm} \quad (7.6)$$

Pro hlavní výztuž

$$\emptyset = 14 \text{ mm}$$

$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$ (platí pro monolitické konstrukce)

$$c_{min,b} = 14 \text{ mm} \geq \emptyset = 14 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.4)$$

$$c_{min,dur} = 20 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max. (c_{min,b} = 14; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} = 20 + 0 + 0 + 0 = 20; 10 \text{ mm}) = 20 \text{ mm} \quad (7.5)$$

$$c_{nom,sl} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 20 + 14 \text{ mm} = 34 \text{ mm} \quad (7.5)$$

Kotevní délka (návrh platí pro všechny nosné výztuže ve sloupu)

Kotevní délka je stejná jako pro sloup pod průnikem průvlaků

5 a A ve 2. NP – viz kapitola 7.3.1, tj. 600 mm, což vyhoví všem požadavkům.

Posudek

$$F_{s1} = F_{s2} = A_{s1(2)} \cdot f_{yd} = 308 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 133,91 \text{ kN} \quad (7.30)$$

$$d = h - c_{nom,sw} - \emptyset_{sw} - \frac{\emptyset}{2} = 250 - 30 - 6 - \frac{14}{2} = 207 \text{ mm} \quad (7.57)$$

$$d_2 = c_{nom,sw} + \emptyset_{sw} + \frac{\emptyset}{2} = 30 + 6 + \frac{14}{2} = 43 \text{ mm} \quad (7.58)$$

$$z_1 = z_2 = \frac{h}{2} - c_{nom,sw} - \emptyset_{sw} - \frac{\emptyset}{2} = \frac{250}{2} - 30 - 6 - \frac{14}{2} = 82 \text{ mm} \quad (7.59)$$

Ověření štíhlosti

Pro toto ověření platí stejné zásady jako pro sloup pod průnikem průvlaků
5 a A ve 2. NP – viz kapitola 7.3.1

Limitní štíhlost

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{308 \cdot 2 \cdot 434,78}{250 \cdot 250 \cdot 20} = 0,214 \quad (7.60)$$

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} = \frac{1,09}{-1,93} = -0,565 \quad (7.61)$$

$A = 0,7$ – konzervativně

$$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,214} = 1,195 \quad (7.62)$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-0,565) = 2,265 \quad (7.63)$$

$$n = \frac{N_{ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{560,71 \cdot 10^3}{250 \cdot 250 \cdot 20} = 0,449 \quad (7.64)$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,195 \cdot 2,265}{\sqrt{0,449}} = 56,55 \quad (7.65)$$

Skutečná štíhlost

$$l = 2,300 \text{ m}$$

$$l_0 = \frac{l}{2} = \frac{2,300}{2} = 1,150 \text{ m} \quad (7.66)$$

$$i = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot b_{sl} \cdot h_{sl}^3}{b_{sl} \cdot h_{sl}}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot 0,250 \cdot 0,250^3}{0,250 \cdot 0,250}} = 0,072 \text{ m} \quad (7.67)$$

$$\lambda_{sl} = \frac{l_0}{i} = \frac{1,150}{0,072} = 15,97 \leq \lambda_{lim} = 56,55 \quad (7.68)$$

Podmínka vyhoví, sloup
je masivní, účinky 2. řádu
jsou zanedbány

$$e_i = \frac{l_0}{400} = \frac{1,150}{400} = 0,0029 \text{ m} \quad (7.69)$$

Zvětšené návrhové vnitřní síly

$$N_{Ed,max} = -560,71 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,x,přísl} = 3,56 + 560,71 \cdot e_i = 3,56 + 560,71 \cdot 0,0029 = 5,19 \text{ kNm} \quad (7.70)$$

$$M_{Ed,x,max} = 5,19 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,přísl} = -560,71 \text{ kN}$$

Interakční diagram

Bod 0

$$\sigma_s = \varepsilon_{c2} \cdot E_s = 2 \cdot 200 = 400 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.71)$$

$$\begin{aligned}
 N_{Rd0} &= - (b_{sl} \cdot h_{sl} \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s1} \cdot \sigma_s + A_{s2} \cdot \sigma_s) = & (7.72) \\
 &= - (0,250 \cdot 0,250 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + 308 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3 + 308 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3) = \\
 &= -1496,40 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Rd0} &= A_{s1} \cdot \sigma_s \cdot z_1 - A_{s2} \cdot \sigma_s \cdot z_2 = & (7.73) \\
 &= 308 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 0,082 - 308 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 0,082 = 0,00 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Bod 1

$$\begin{aligned}
 N_{Rd1} &= - (\lambda \cdot b_{sl} \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd}) = & (7.74) \\
 &= - (0,8 \cdot 0,250 \cdot 0,207 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + 308 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3) = -961,91 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Rd1} &= \lambda \cdot b_{sl} \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h_{sl} - \lambda \cdot d) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2 = & (7.75) \\
 &= 0,8 \cdot 0,250 \cdot 0,207 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot (0,250 - 0,8 \cdot 0,207) + 308 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot \\
 &\cdot 0,082 = 45,92 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Bod 2

$$\begin{aligned}
 N_{Rd2} &= - (\lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b_{sl} \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd} - A_{s1} \cdot f_{yd}) = & (7.76) \\
 &= - (0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,250 \cdot 0,207 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + 308 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 - 308 \cdot 10^{-6} \cdot \\
 &\cdot 434,78 \cdot 10^3) = -510,88 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Rd2} &= \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b_{sl} \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h_{sl} - \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 = & (7.77) \\
 &= 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,250 \cdot 0,207 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot (0,250 - 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,207) + 308 \cdot 10^{-6} \cdot \\
 &\cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,082 + 308 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,082 = 59,72 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Bod 3

$$N_{Rd3} = 0,00 \text{ kN}$$

$$x = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b_{sl} \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{308 \cdot 434,78 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 250 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 33,478 \text{ mm} \quad (7.78)$$

$$\begin{aligned} M_{Rd3} &= A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,5 \cdot 0,8 \cdot x) = \\ &= 308 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot (0,207 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,033) = 25,95 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (7.79)$$

Bod 4

$$N_{Rd4} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 308 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 133,91 \text{ kN} \quad (7.80)$$

$$M_{Rd4} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 = 308 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,082 = 10,98 \text{ kNm} \quad (7.81)$$

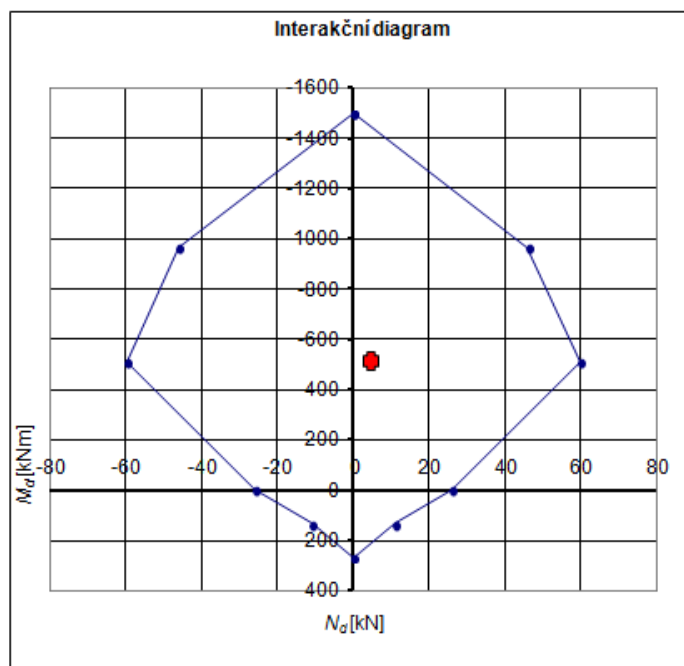
Bod 5

$$\begin{aligned} N_{Rd5} &= A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s2} \cdot f_{yd} = 308 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 + 308 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = \\ &= 267,82 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.82)$$

$$\begin{aligned} M_{Rd5} &= A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 - A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2 = \\ &= 308 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,082 - 308 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,082 = 0,00 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (7.83)$$

Bod 1'–4'

Díky symetrickému průřezu i symetrickému uspořádání výztuže v obou směrech jsou hodnoty normálových sil na mezi únosnosti bodů 1'–4' totožné s hodnotami 1–4 a hodnoty ohybových momentů na mezi únosnosti taktéž, pouze s opačnou znaménkovou konvencí.



Obrázek 7.2 – Výsledný interakční diagram

Návrhové vnitřní síly leží uvnitř interakčního diagramu, navržený průřez vyhoví.

Konstrukční zásady

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{33,478}{207} = 0,162 < \xi_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{200000}} = 0,617 \quad (7.17)$$

Podmínka vyhoví

$$\xi = \frac{x}{d_2} = \frac{33,478}{43} = 0,779 > \xi_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{200000}} = 0,617 \quad (7.84)$$

Podmínka vyhoví

$$A_{s,min} = \max. \left(0,1 \cdot \frac{N_{ed}}{f_{yd}} = 0,1 \cdot \frac{560,71 \cdot 10^3}{434,78} = 128,96; \right. \quad (7.85)$$

$$0,002 A_c = 0,002 \cdot 250 \cdot 250 = 125,00) = 128,96 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 128,96 \text{ mm}^2 \leq A_s = 616 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.35)$$

$$A_{s,max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 250 \cdot 250 = 2500 \text{ mm}^2 \quad (7.36)$$

$$A_{s,max} = 2500 \text{ mm}^2 \geq A_s = 616 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.37)$$

$$s_{max} = 400 \text{ mm} \geq s_{kut,os} = 164 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.86)$$

$$s_{min} = \max. (k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max. (1,2 \cdot 14 = 16,8; 16 + 5 = 21; 20) = 21 \text{ mm} \quad (7.24)$$

$$s_{min} = 21 \text{ mm} \leq s_{kut,sv} = 150 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.25)$$

$$\emptyset_{sw,min} = \max. (6 \text{ mm}; 0,25 \cdot \emptyset = 0,25 \cdot 14 = 3,5) = 6 \text{ mm} \quad (7.87)$$

$$\emptyset_{sw,min} = 6 \text{ mm} \geq \emptyset_{sw} = 6 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.88)$$

$$s_{sw,max} = \min. (15 \cdot \emptyset = 15 \cdot 14 = 210; h_{sl} = 250, b_{sl} = 250, 300 \text{ mm}) = 210 \text{ mm} \quad (7.89)$$

$$s_{sw} = 200 \text{ mm} \leq s_{sw,max} = 210 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.90)$$

$$\text{V horní a dolní části sloupu v délce max. } (h_{sl} = 250 \text{ mm}, b_{sl} = 250 \text{ mm}) = 250 \text{ mm} \quad (7.91)$$

$$\text{se zmenší vzdálenost třmínků na } \leq 0,6 s_{sw} = 0,6 \cdot 200 = 120 \text{ mm, návrh } 100 \text{ mm} \quad (7.92)$$

Ověření podmínky pro možnost upustit od výpočtu omezení trhlin

Sloup je chráněn nepropustným nátěrem, šířka trhliny nemá vliv na trvanlivost. Doporučená maximální hodnota šířky trhliny $w_{max} = 0,3 \text{ mm}$ zajišťuje přijatelný vzhled betonu. Trhliny nenaruší funkčnost.

Ověření podmínky pro možnost upustit od výpočtu omezení napětí

Omezení napětí není nutno ověřovat při splnění mezního stavu únosnosti a konstrukčních zásad – podmínky jsou splněny, výpočet není potřeba.

Poznámka: výkres výztuže je proveden pouze pro sloup nacházející se pod průnikem průvlaků 4 a B v 1. NP, ostatní sloupy budou obdobné se stejnými konstrukčními zásadami.

7.4 Návrh a posudek schodiště

Maximální záporný ohybový moment vznikne u horního okraje desky, kladný u dolního.

Návrh

$$h_{sch} = 200 \text{ mm}$$

$$b_{sch} = 1245 \text{ mm}$$

Návrh výztuže do nosníku se zatěžovací šířkou 1,245 m

$$\text{Dolní povrch: } 8 \text{ } \varnothing 8, A_s = 402 \text{ mm}^2$$

$$\text{Horní povrch: } 14 \text{ } \varnothing 8, A_s = 704 \text{ mm}^2$$

$$\text{Rozdělovací výztuž: } \varnothing 6/155, a_{s,rv} = 182 \text{ mm}^2 \text{ (pro oba povrchy)}$$

Krytí výztuže

Schodiště se nachází ve stupni vlivu prostředí XC1 a je navrženo pro konstrukční třídu S4, která je pro návrh krytí výztuže snížena na S3 (díky třídě betonu $\geq \text{C } 30/37$).

$$\varnothing = 8 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm (platí pro monolitické konstrukce)}$$

$$c_{min,b} = 8 \text{ mm} \geq \varnothing = 8 \text{ mm}$$

Podmínka vyhoví (7.4)

$$c_{min,dur} = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max. (c_{min,b} = 8; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} = 10 + 0 + 0 + 0 = 10; 10 \text{ mm}) = 10 \text{ mm} \quad (7.5)$$

$$c_{nom,sch} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 10 + 10 \text{ mm} = 20 \text{ mm} \quad (7.6)$$

Kotevní délka (návrh platí pro všechny nosné výztuže ve schodišti)

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 2,99 \text{ MPa} \quad (7.7)$$

$$l_{bd,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{8}{4} \cdot \frac{434,78}{2,99} = 290,82 \text{ mm} \quad (7.8)$$

$$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5 = 1$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 290,82 = 290,82 \text{ mm}, \quad (7.9)$$

návrh $l_{bd} = 300 \text{ mm}$

$$l_{bd,min} = \max. (0,3 \cdot l_{bd,rqd} \quad 0,3 \cdot 290,82 = 87,25; 10 \cdot \emptyset = 10 \cdot 8 = 80; 20 \text{ mm}) = 87,25 \text{ mm} \quad (7.10)$$

$$l_{bd,min} = 87,25 \text{ mm} \leq l_{bd} = 300 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.11)$$

Posouzení výztuže u dolního povrchu

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 402 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 174,78 \text{ kN} \quad (7.30)$$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{174,78 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,245 \cdot 20 \cdot 10^3} = 8,774 \text{ mm} \quad (7.13)$$

$$d = h_{sch} - c_{nom,sch} - \frac{\emptyset}{2} = 200 - 20 - \frac{8}{2} = 176 \text{ mm} \quad (7.26)$$

$$M_{Rd}^+ = F_s \cdot \left(d - \frac{\lambda \cdot x}{2}\right) = 174,78 \cdot \left(0,176 - \frac{0,8 \cdot 0,009}{2}\right) = 30,13 \text{ kNm} \quad (7.32)$$

$$M_{Rd}^+ = 30,13 \text{ kNm} \geq M_{Ed}^+ = 22,25 \text{ kNm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.33)$$

Konstrukční zásady

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{8,774}{176} = 0,050 < \xi_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{200000}} = 0,617 \quad (7.17)$$

Podmínka vyhoví

$$A_{s,min} = \max. \left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_{sch} \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1245 \cdot 176 = 330,43; \quad (7.34)\right.$$

$$0,0013 b_{sch} \cdot d = 0,0013 \cdot 1245 \cdot 176 = 284,86) = 330,43 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 330,43 \text{ mm}^2 \leq A_s = 402 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.35)$$

$$A_{s,max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 1245 \cdot 200 = 9960 \text{ mm}^2 \quad (7.36)$$

$$A_{s,max} = 9960 \text{ mm}^2 \geq A_s = 402 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.37)$$

$$s_{max} = \min. (2 \cdot h_s = 2 \cdot 200 = 400; 250 \text{ mm}) = 250 \text{ mm} \quad (7.22)$$

$$s_{max} = 250 \text{ mm} \geq s_{skut,os} = \frac{1245 - \left(20 + \frac{8}{2}\right) \cdot 2}{8 - 1} = 171 \text{ mm}$$

Podmínka vyhoví (7.93)

$$s_{min} = \max. (k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max. (1,2 \cdot 8 = 9,6; 16 + 5 = 21; 20) = 21 \text{ mm} \quad (7.24)$$

$$s_{min} = 21 \text{ mm} \leq s_{kut,sv} = 163 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.25)$$

$$s_{max,rv} = \min. (3 \cdot h_s = 3 \cdot 200 = 600; 400 \text{ mm}) = 400 \text{ mm} \quad (7.94)$$

$$s_{max,rv} = 400 \text{ mm} \geq s_{kut,os,rv} = 155 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.95)$$

$$a_{s,min,rv} = 0,2 \cdot A_s = 0,2 \cdot \frac{402 \cdot 10^{-6}}{1,245} = 6,458 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 = 64,58 \text{ mm}^2 \quad (7.96)$$

$$a_{s,min,rv} = 64,58 \text{ mm}^2 \leq a_{s,rv} = 182 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.97)$$

Posouzení výztuže u horního povrchu

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 704 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 306,09 \text{ kN} \quad (7.30)$$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{306,09 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,245 \cdot 20 \cdot 10^3} = 15,366 \text{ mm} \quad (7.13)$$

$$d = h_{sch} - c_{nom,sch} - \frac{\emptyset}{2} = 200 - 20 - \frac{8}{2} = 176 \text{ mm} \quad (7.26)$$

$$M_{Rd}^- = F_s \cdot \left(d - \frac{\lambda \cdot x}{2}\right) = 306,09 \cdot \left(0,176 - \frac{0,8 \cdot 0,015}{2}\right) = 52,04 \text{ kNm} \quad (7.32)$$

$$M_{Rd}^- = 52,04 \text{ kNm} \geq M_{Ed}^- = 44,00 \text{ kNm/m} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.33)$$

Konstrukční zásady

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,015}{0,176} = 0,085 < \xi_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{200000}} = 0,617 \quad (7.17)$$

Podmínka vyhoví

$$A_{s,min} = \max. \left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_{sch} \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1245 \cdot 176 = 330,43; \right. \quad (7.34)$$

$$\left. 0,0013 b \cdot d = 0,0013 \cdot 1245 \cdot 176 = 284,86 \right) = 330,43 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 330,43 \text{ mm}^2 \leq A_s = 704 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.35)$$

$$A_{s,max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 1245 \cdot 200 = 9960 \text{ mm}^2 \quad (7.36)$$

$$A_{s,max} = 9960 \text{ mm}^2 \geq A_s = 704 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.37)$$

$$s_{max} = \min. (2 \cdot h_s = 2 \cdot 200 = 400; 250 \text{ mm}) = 250 \text{ mm} \quad (7.22)$$

$$s_{max} = 250 \text{ mm} \geq s_{skut,os} = \frac{1245 - \left(20 + \frac{8}{2}\right) \cdot 2}{14 - 1} = 92,08 \text{ mm} \quad (7.93)$$

Podmínka vyhoví

$$s_{min} = \max. (k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max. (1,2 \cdot 8 = 9,6; 16 + 5 = 21; 20) = 21 \text{ mm} \quad (7.24)$$

$$s_{min} = 21 \text{ mm} \leq s_{kut,sv} = 84,08 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.25)$$

$$s_{max,rv} = \min. (3 \cdot h_s = 3 \cdot 200 = 600; 400 \text{ mm}) = 400 \text{ mm} \quad (7.94)$$

$$s_{max,rv} = 400 \text{ mm} \geq s_{kut,os,rv} = 155 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.95)$$

$$a_{s,min,rv} = 0,2 \cdot A_s = 0,2 \cdot \frac{704 \cdot 10^{-6}}{1,245} = 1,753 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 175,30 \text{ mm}^2 \quad (7.96)$$

$$a_{s,min,rv} = 175,30 \text{ mm}^2 \leq a_{s,rv} = 182 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.97)$$

Ověření podmínky pro možnost upustit od výpočtu průhybu

$$l = 5,774 \text{ m (šikmá délka)}$$

$$K = 1,3$$

$$\rho_w = \frac{A_s}{b_{sch} \cdot d} = \frac{402 \cdot 10^{-6}}{1,245 \cdot 0,176} = 1,835 \cdot 10^{-3} \quad (7.98)$$

$$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \cdot \sqrt{30} = 5,477 \cdot 10^{-3} \geq \rho_w = 1,835 \cdot 10^{-3} \quad (7.28)$$

Podmínka vyhoví,
použije se následující
vzorec 7.29

$$\frac{l}{d} \leq K \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho_w} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho_w} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (7.29)$$

$$\frac{5,774}{0,176} = 32,81 \leq 1,3 \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{30} \frac{5,477 \cdot 10^{-3}}{1,835 \cdot 10^{-3}} + 3,2 \cdot \sqrt{30} \cdot \left(\frac{5,477 \cdot 10^{-3}}{1,835 \cdot 10^{-3}} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] =$$

$$= 109,89$$

Podmínka vyhoví,
je upuštěno od posouzení
průhybu

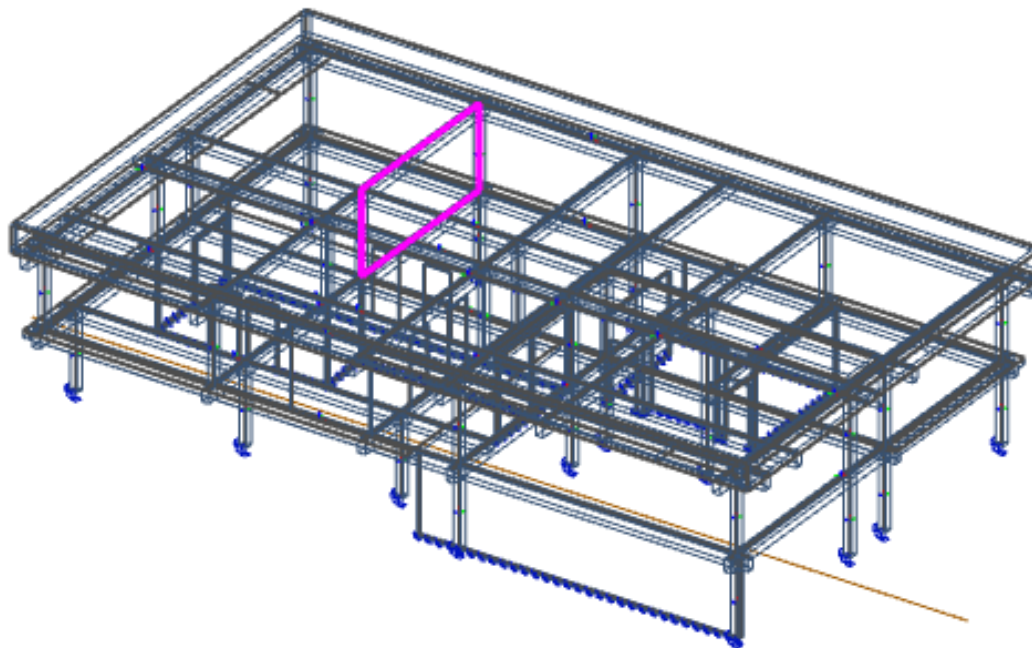
Ověření podmínky pro možnost upustit od výpočtu omezení trhlin

Pro stupeň vlivu prostředí XC1 nemá šířka trhliny vliv na trvanlivost. Doporučená maximální hodnota šířky trhliny $w_{\max} = 0,4$ mm zajišťuje přijatelný vzhled betonu. Trhliny nenaruší funkčnost.

Ověření podmínky pro možnost upustit od výpočtu omezení napětí

Omezení napětí není nutno ověřovat při splnění mezního stavu únosnosti a konstrukčních zásad – podmínky jsou splněny, výpočet není potřeba.

7.5 Návrh a posudek stěny ve 2. NP mezi místnostmi 201, 216 a 202



Obrázek 7.3 – Graficky vyznačená stěna ve 3D modelu

Návrh

$$h_{st} = 100 \text{ mm}$$

$$b_{st} = 1000 \text{ mm}$$

Navržená výztuž

Nosná výztuž vodorovná: $\emptyset 10/120$, $a_{s1} = 654 \text{ mm}^2$

Nosná výztuž svislá: $\emptyset 10/120$, $a_{s2} = 654 \text{ mm}^2$

Krytí výztuže

Stěna se nachází ve stupni vlivu prostředí XC1 s konstrukční třídou S4, která je pro krytí výztuže snížena na S3 (díky třídě betonu $\geq \text{C } 30/37$).

$$\emptyset = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm (platí pro monolitické konstrukce)}$$

$$c_{min,b} = 10 \text{ mm} \geq \emptyset = 10 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.4)$$

$$c_{min,dur} = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}; \Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max. (c_{min,b} = 10; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} = 10 + 0 + 0 + 0 = 10; \quad (7.5)$$

$$10 \text{ mm}) = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom,st} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 10 + 10 \text{ mm} = 20 \text{ mm} \quad (7.6)$$

Kotevní délka (návrh platí pro všechny nosné výztuže ve sloupu)

$$f_{bd} = 2,25 \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 2,99 \text{ MPa} \quad (7.7)$$

$$l_{bd,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{2,99} = 363,53 \text{ mm} \quad (7.8)$$

$$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5 = 1$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 363,53 = 363,53 \text{ mm}, \quad (7.9)$$

návrh $l_{bd} = 370 \text{ mm}$

$$l_{bd,min} = \max. (0,3 \cdot l_{bd,rqd} = 0,3 \cdot 363,53 = 109,06; 10 \cdot \emptyset = 10 \cdot 10 = 100; 20 \text{ mm}) = \quad (7.10)$$

$$= 109,06 \text{ mm}$$

$$l_{bd,min} = 109,06 \text{ mm} \leq l_{bd} = 370 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.11)$$

Posudek

$$F_{s1} = F_{s2} = a_{s1(2)} \cdot f_{yd} = 654 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 284,35 \text{ kN} \quad (7.12)$$

$$d = h_{st} - c_{nom,st} - \frac{\emptyset}{2} = 100 - 20 - \frac{10}{2} = 75 \text{ mm} \quad (7.26)$$

$$d_2 = c_{nom,st} + \frac{\emptyset}{2} = 20 + \frac{10}{2} = 25 \text{ mm} \quad (7.58)$$

$$z_1 = z_2 = \frac{h_{st}}{2} - c_{nom,st} - \frac{\emptyset}{2} = \frac{100}{2} - 20 - \frac{10}{2} = 25 \text{ mm} \quad (7.59)$$

Ověření štíhlosti

Je potřeba ověřit, zda se jedná o štíhlou či masivní stěnu. U masivní stěny je možno zanedbat účinky 2. řádu pro výpočet vnitřních sil. Je potřeba započítat pouze excentricitu od imperfekcí. Návrhové momenty se zvětší o moment způsobený normálovou silou působící na excentricitě. U štíhlého sloupu je nutné navíc započítat excentricitu vyvolanou vlivem štíhlosti.

Limitní štíhlost

$$\omega = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{a_c \cdot f_{cd}} = \frac{654 \cdot 2 \cdot 434,78}{1000 \cdot 100 \cdot 20} = 0,284 \quad (7.99)$$

$A = 0,7$ – konzervativně

$$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,284} = 1,252 \quad (7.62)$$

$C = 0,7$ – konzervativně

$$n = \frac{n_{ed}}{a_c \cdot f_{cd}} = \frac{160,86 \cdot 10^3}{100 \cdot 1000 \cdot 20} = 0,080 \quad (7.100)$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,252 \cdot 0,7}{\sqrt{0,080}} = 43,38 \quad (7.65)$$

Skutečná štíhlost

$$l = 2,200 \text{ m}$$

$$l_0 = \frac{l}{2} = \frac{2,200}{2} = 1,100 \text{ m} \quad (7.66)$$

$$i = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot b_{st} \cdot h_{st}^3}{b_{st} \cdot h_{st}}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot 1,000 \cdot 0,1^3}{1,000 \cdot 0,100}} = 0,029 \text{ m} \quad (7.67)$$

$$\lambda_{st} = \frac{l_0}{i} = \frac{1,100}{0,029} = 37,93 \leq \lambda_{lim} = 43,38 \quad (7.68)$$

Podmínka vyhoví, stěna
je masivní, účinky 2. řádu
jsou zanedbány

$$e_i = \frac{l_0}{400} = \frac{1,100}{400} = 0,0028 \text{ m} \quad (7.69)$$

Zvětšené návrhové vnitřní síly pro $b_{st} = 1 \text{ m}$

$$m_{Ed,max} = 1,60 + 160,86 \cdot e_i = 1,60 + 160,86 \cdot 0,0028 = 2,05 \text{ kNm/m} \quad (7.101)$$

$$n_{Ed,přísl} = 160,86 \text{ kN/m}$$

$$n_{Ed,max} = 160,86 \text{ kN/m}$$

$$m_{Ed,přísl} = 2,05 \text{ kNm/m}$$

Interakční diagram

Bod 0

$$\sigma_s = \varepsilon_{c2} \cdot E_s = 2 \cdot 200 = 400 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.71)$$

$$\begin{aligned} n_{Rd0} &= - (b_{st} \cdot h_{st} \cdot \eta \cdot f_{cd} + a_{s1} \cdot \sigma_s + a_{s2} \cdot \sigma_s) = \\ &= - (1,000 \cdot 0,100 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + 654 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3 + 654 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3) = \\ &= -2523,20 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (7.102)$$

$$\begin{aligned} m_{Rd0} &= a_{s1} \cdot \sigma_s \cdot z_1 - a_{s2} \cdot \sigma_s \cdot z_2 = \\ &= 654 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 0,025 - 654 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 0,025 = 0,00 \text{ kNm/m} \end{aligned} \quad (7.103)$$

Bod 1

$$\begin{aligned} n_{Rd1} &= - (\lambda \cdot b_{st} \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + a_{s2} \cdot f_{yd}) = \\ &= - (0,8 \cdot 1,000 \cdot 0,075 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + 654 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3) = -1484,35 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (7.104)$$

$$\begin{aligned} m_{Rd1} &= \lambda \cdot b_{st} \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h_{st} - \lambda \cdot d) + a_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2 = \\ &= 0,8 \cdot 1,000 \cdot 0,075 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot (0,10 - 0,8 \cdot 0,075) + \\ &+ 654 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,025 = 31,11 \text{ kNm/m} \end{aligned} \quad (7.105)$$

Bod 2

$$\begin{aligned} n_{Rd2} &= - (\lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b_{st} \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + a_{s2} \cdot f_{yd} - a_{s1} \cdot f_{yd}) = \\ &= - (0,8 \cdot 0,617 \cdot 1,000 \cdot 0,075 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + \\ &+ 654 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 - 654 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3) = -740,40 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (7.106)$$

$$\begin{aligned} m_{Rd2} &= \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b_{st} \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h_{st} - \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d) + a_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2 + a_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 = \\ &= 0,8 \cdot 0,617 \cdot 1,000 \cdot 0,075 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot (0,100 - 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,075) + \\ &+ 654 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,025 + 654 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,025 = 37,53 \text{ kNm/m} \end{aligned} \quad (7.107)$$

Bod 3

$$n_{Rd3} = 0,00 \text{ kN/m}$$

$$x = \frac{a_{s1} \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b_{st} \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{654 \cdot 434,78 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 17,772 \text{ m} \quad (7.108)$$

$$\begin{aligned} m_{Rd3} &= a_{s1} \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,5 \cdot 0,8 \cdot x) = \\ &= 654 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot (0,075 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,018) = 19,28 \text{ kNm/m} \end{aligned} \quad (7.109)$$

Bod 4

$$n_{Rd4} = a_{s1} \cdot f_{yd} = 654 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 284,35 \text{ kN/m} \quad (7.110)$$

$$m_{Rd4} = a_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 = 654 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,025 = 7,11 \text{ kNm/m} \quad (7.111)$$

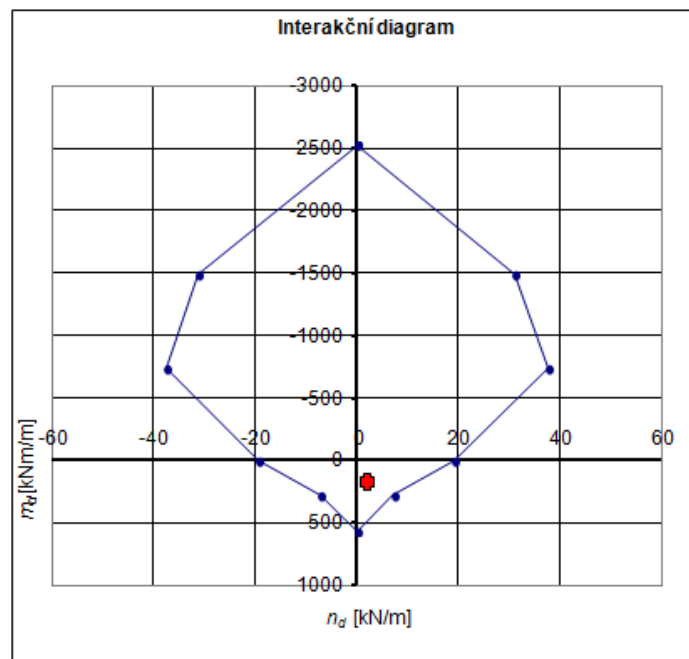
Bod 5

$$\begin{aligned} n_{Rd5} &= a_{s1} \cdot f_{yd} + a_{s2} \cdot f_{yd} = 654 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 + 654 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = \\ &= 568,69 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (7.112)$$

$$\begin{aligned} m_{Rd5} &= a_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 - a_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2 = \\ &= 654 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,025 - 654 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,025 = 0,00 \text{ kNm/m} \end{aligned} \quad (7.113)$$

Bod 1'–4'

Díky symetrickému průřezu i symetrickému uspořádání výztuže v obou směrech jsou hodnoty normálových sil na mezi únosnosti bodů 1'–4' totožné s hodnotami 1–4 a hodnoty ohybových momentů na mezi únosnosti taktéž, pouze s opačnou znaménkovou konvencí.



Obrázek 7.4 – Výsledný interakční diagram

Návrhové vnitřní síly leží uvnitř interakčního diagramu, navržený průřez vyhoví.

Konstrukční zásady

Pro svislou výztuž

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{17,772}{75} = 0,237 < \xi_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{200000}} = 0,617 \quad (7.17)$$

Podmínka vyhoví

$$\xi = \frac{x}{d_2} = \frac{17,772}{25} = 0,711 > \xi_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{200000}} = 0,617 \quad (7.84)$$

Podmínka vyhoví

$$a_{s,v,min} = 0,002 a_c = 0,002 \cdot 100 \cdot 1000 = 200 \text{ mm}^2 \quad (7.114)$$

$$a_{s,v,min} = 200 \text{ mm}^2 \leq a_{s,v} = 654 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.19)$$

$$a_{s,v,max} = 0,04 a_c = 0,04 \cdot 100 \cdot 1000 = 4000 \text{ mm}^2 \quad (7.20)$$

$$a_{s,v,max} = 4000 \text{ mm}^2 \geq a_{s,v} = 654 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.21)$$

$$s_{v,max} = \min. (3 h = 3 \cdot 100 = 300; 400 \text{ mm}) = 300 \text{ mm} \quad (7.115)$$

$$s_{v,max} = 300 \text{ mm} \geq s_{v,skut,os} = 120 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.86)$$

$$s_{v,min} = \max. (k_1 \cdot \emptyset = 1,2 \cdot 10 = 12; d_g + k_2 = 16 + 5 = 21; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm} \quad (7.24)$$

$$s_{v,min} = 21 \text{ mm} \leq s_{v,skut,sv} = 110 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.25)$$

Pro vodorovnou výztuž

$$a_{s,h,min} = \max. (0,002 a_c = 0,002 \cdot 100 \cdot 1000 = 200; \quad (7.116)$$

$$= 0,25 a_{s,v,min} = 0,25 \cdot 654 = 163,5) = 200 \text{ mm}^2$$

$$a_{s,h,min} = 200 \text{ mm}^2 \leq a_s = 654 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.21)$$

$$s_{h,max} = 400 \text{ mm} \geq s_{h,skut,os} = 120 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.86)$$

$$s_{h,min} = \max. (k_1 \cdot \emptyset = 1,2 \cdot 10 = 12; d_g + k_2 = 16 + 5 = 21; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm} \quad (7.19)$$

$$s_{h,min} = 21 \text{ mm} \leq s_{h,skut,sv} = 110 \text{ mm} \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.25)$$

Pro příčnou výztuž

$$0,02 a_c = 0,02 \cdot 1000 \cdot 100 = 2000 \text{ mm}^2 > a_{s,v} = 654 \text{ mm}^2 \quad \text{Podmínka vyhoví} \quad (7.117)$$

Není potřeba navrhovat příčnou výztuž v podobě spon podle požadavků na sloupy, postačí konstrukční návrh.

návrh min. 4 spony na m²

Ověření podmínky pro možnost upustit od výpočtu omezení trhlin

Pro stupeň vlivu prostředí XC1 nemá šířka trhliny vliv na trvanlivost. Doporučená maximální hodnota šířky trhliny $w_{\max} = 0,4$ mm zajišťuje přijatelný vzhled betonu. Trhliny nenaruší funkčnost.

Ověření podmínky pro možnost upustit od výpočtu omezení napětí

Omezení napětí není nutno ověřovat při splnění mezního stavu únosnosti a konstrukčních zásad – podmínky jsou splněny, výpočet není potřeba.

8 Závěr

V rámci této bakalářské práce byl proveden návrh a posudek vybraných prvků železobetonové konstrukce, sloužící jako vývojové centrum firmy, z hlediska statiky.

Práce obsahuje stručnou technickou zprávu s popisem objektu a jednotlivých částí konstrukce. Dále je popsán kombinovaný konstrukční systém. Jeho výhody a nevýhody, uspořádání hlavních prvků a používané systémy tohoto systému.

Následující kapitola je věnována výpočtu zatížení. Tyto výsledky byly následně použity pro tvorbu numerického 3D modelu, ze kterého byly získány vnitřní síly. Zatížení bylo použito také v části věnující se výpočtu vnitřních sil na zjednodušených modelech.

Na získané vnitřní síly byly navrženy a posouzeny vybrané prvky konstrukce. Všechny návrhy následně vyhověly. Při návrhu byl brán zřetel nejen na ekonomické a hospodárné využití materiálů, ale také na následné vhodné a snadné provedení na stavbě.

Součástí této práce je výkresová dokumentace. Výkresová dokumentace obsahuje půdorysné výkresy a výkres řezu znázorňující dispozici a rozmístění prvků. Dále byly vyhotoveny výkresy výztuže pro navrhované a posuzované prvky, které upřesňují návrh výztuže.

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat všem, kteří mi byli jakoukoliv cestou nápomocni při tvorbě této mé bakalářské práce. Hlavně pak paní Ing. Lucii Mynarzové, Ph.D za velkou ochotu, vstřícnost a užitečné odborné rady, které mi zdárně pomohly práci vytvořit. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Davidovi Mikoláškov, Ph.D za pomoc při tvorbě numerického 3D modelu.

9 Seznam obrázků

Obrázek 3.1 – Vliv umístění jádra v půdorysu budovy na velikost krouticích momentů od horizontálního zatížení	18
Obrázek 3.2 – Příklad vertikálně kombinovaného systému (stěnový systém na sloupové podnoži)	20
Obrázek 4.1 – Rozdělení stěny do polí pro podélný vítr (půdorys objektu)	28
Obrázek 4.2 – Rozdělení stěny do polí pro příčný vítr (půdorys objektu)	30
Obrázek 4.3 – Rozdělení střechy do polí pro podélný vítr (půdorys objektu)	32
Obrázek 4.4 – Rozdělení střechy do polí pro příčný vítr (půdorys objektu)	34
Obrázek 5.1 – 3D model konstrukce vytvořený v programu Scia Engineer 17.01	35
Obrázek 5.2 – Obálka dimenzačních ohybových momentů ve směru x, dolní okraj desky ...	36
Obrázek 5.3 – Obálka dimenzačních ohybových momentů ve směru x, horní okraj desky ...	36
Obrázek 5.4 – Obálka dimenzačních ohybových momentů ve směru y, dolní okraj desky ...	37
Obrázek 5.5 – Obálka dimenzačních ohybových momentů ve směru y, horní okraj desky ...	37
Obrázek 5.6 – Obálka dimenzačních ohybových momentů ve směru x, dolní okraj desky ...	38
Obrázek 5.7 – Obálka dimenzačních ohybových momentů ve směru x, horní okraj desky ...	39
Obrázek 5.8 – Obálka dimenzačních ohybových momentů ve směru y, dolní okraj desky ...	39
Obrázek 5.9 – Obálka dimenzačních ohybových momentů ve směru y, horní okraj desky ...	40
Obrázek 5.10 – Obálka maximálních ohybových momentů [kNm] a příslušných posouvajících sil [kN] průvlaku E nad 2. NP	41
Obrázek 5.11 – Obálka maximálních posouvajících sil [kN] a příslušných ohybových momentů [kNm] průvlaku 1 nad 1. NP	42
Obrázek 5.12 – Obálka maximálních ohybových momentů ve směru x [kNm] a příslušných, zároveň i maximálních, normálových sil [kN] na sloupu pod stykem průvlaků 1 a A ve 2. NP	43
Obrázek 5.13 – Obálka maximálních ohybových momentů ve směru y [kNm] a příslušných, zároveň i maximálních, normálových sil [kN] na sloupu pod stykem průvlaků 5 a A ve 2. NP	44
Obrázek 5.14 – Obálka maximálních normálových sil [kN] a příslušných, zároveň i maximálních, ohybových momentů ve směru x a y [kNm] na sloupu pod stykem průvlaků 4 a B ve 1. NP	45
Obrázek 5.15 – Obálka dimenzačních ohybových momentů	46

Obrázek 5.16 – Obálka dimenzačních ohybových momentů	46
Obrázek 5.17 – Obálka dimenzačních normálových sil	46
Obrázek 6.1 – Náčrtek desky, červeně vyšrafovaná část je vypočtena v následujících krocích	47
Obrázek 6.2 – Statické schéma spojitého nosníku	50
Obrázek 6.3 – Výsledné ohybové momenty na náhradním nosníku [kNm/m]	51
Obrázek 6.4 – Náčrtek půdorysu desky s vyznačeným průvlakem, jenž přebírá zatížení z červeně vyšrafovaných částí	52
Obrázek 6.5 – Statické schéma průvlaku	53
Obrázek 6.6 – Výsledné posouvající síly [kN]	54
Obrázek 6.7 – Statické schéma schodiště	56
Obrázek 6.8 – Výsledné ohybové momenty na schodišti [kNm]	56
Obrázek 7.1 – Výsledný interakční diagram	86
Obrázek 7.2 – Výsledný interakční diagram	94
Obrázek 7.3 – Graficky vyznačená stěna ve 3D modelu	102
Obrázek 7.4 – Výsledný interakční diagram	108

10 Seznam tabulek

Tabulka 4.1 – Stálá zatížení – zatížení od podlahy v místnostech 101–114	21
Tabulka 4.2 – Stálá zatížení – zatížení od podlahy v místnosti 115	21
Tabulka 4.3 – Stálá zatížení – zatížení od podlahy v místnostech 201–203, 215, 216	21
Tabulka 4.4 – Stálá zatížení – zatížení od podlahy v místnostech 204–214	21
Tabulka 4.5 – Stálá zatížení – zatížení od podhledu v místnostech 105, 107–112	22
Tabulka 4.6 – Stálá zatížení – zatížení od podhledu v místnostech 113, 115, 201–205, 215, 216	22
Tabulka 4.7 – Stálá zatížení – zatížení od střešního pláště	22
Tabulka 4.8 – Stálá zatížení – svislá zatížení od nenosných konstrukcí	22
Tabulka 4.9 – Stálá zatížení na schodišti	23
Tabulka 4.10 – Užité zatížení	23

11 Použitá literatura

- [1] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. ČNI, Březen 2004.
- [2] ČSN EN 1992-1-1 *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. ČNI, 2006.
- [3] ČSN EN 1991-1-1 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. ČNI, Březen 2004.
- [4] ČSN EN 1991-1-3 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. ČNI, Červen 2005
- [5] ČSN EN 1991-1-4 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. ČNI, Květen 2005.
- [6] HÁJEK, Petr. *Konstrukce pozemních staveb 10: nosné konstrukce I*. Vyd. 2. přeprac. Praha: České vysoké učení technické, 2000. ISBN 80-010-2243-9.
- [7] KRATOCHVÍL, Jan. Vývojový areál „Idea Air Fryčovice“. In: *archiweb.cz* [online]. Praha [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://www.archiweb.cz/b/vyvojovy-areal-idea-air-frycovice>

12 Použité grafické a výpočtové programy

Scia Engineer 17.01 (studentská verze)

AutoCAD Architecture

Microsoft Office Word 2007

Microsoft Office Excel 2007

13 Seznam příloh

Příloha č. 1: Půdorys 1. NP, M 1:100

Příloha č. 2: Půdorys 2. NP, M 1:100

Příloha č. 3: Řez X-X', M 1:100

Příloha č. 4: Výkres výztuže desky nad 2. NP, M 1:100, M 1:20

Příloha č. 5: Výkres výztuže desky nad 1. NP, M 1:100, M 1:20

Příloha č. 6: Výkres výztuže průvlaku 1 nad 1. NP, M 1:20, M 1:10

Příloha č. 7: Výkres výztuže sloupu ležícího pod průnikem průvlaků 4 + B v 1. NP, M 1:10, M 1:20

Příloha č. 8: Výkres výztuže schodiště, M 1:20

Příloha č. 9: Výkres výztuže stěny mezi místnostmi 201, 2016 a 202, M 1:20, M 1:10